遥感地学分析

陈述彭，等

测绘出版社

1990

集思学院, 2003-7

目　　录

绪 论

社会生产实践的需要，推动科学实验的发展，而科学技术的革命，又往往导致社会生产的飞跃。回顾遥感应用技术的进步也毫不例外地反映出这一辩证的规律。军事侦察与航海的需要，促进了16世纪望远镜和19世纪照相机的出现，算是突破了远距离遥感的第一关。二次世界大战中，航空技术的迅猛发展，又突破了地面平台的限制，发展了航空摄影技术：第一次大战末研制成功了航空摄影立体自动测图仪，第二次大战前夕，研制成功了彩色摄影胶片，航空遥感的几何纠正与光谱分析也前进了一大步。这使地图测绘、地质勘测、土地利用调查、城市规划等地区性的环境遥感工作有了巨大发展，形成了比较完整的生产技术系统和学科体系。50年代后期，人造卫星的发射，使遥感技术平台从航空平台上升到远离地球表面的太空——航天平台。而多光谱、微波、激光遥感仪器的研制，使遥感从可见光的范畴延伸到可见光以外的各个电磁波谱段。遥感技术向宏观与微观两个方面发展，人们可以利用电磁波的微观信息来探测宇宙和地球的宏观规律。这使人们在新的技术条件下，有了向地球科学广度和深度进军的可能性。这是人类认识地球的又一个质的飞跃。

60年代以来，美国的气象卫星已发展有三代极地轨道气象卫星(以ESSA,NOAA,TIROS-N为代表)和两代地球同步轨道气象卫星(ATS,SMS/GOES)。1972年以来，美国先后发射了5颗陆地卫星(Landsat)，每年给美国带来的经济效益达数亿美元之多，利润超过了投资的几十倍。但是据美国国家宇航局(NASA)的统计，图象的利用率还不到5%，磁带的利用率还不到2%。从遥感技术的角度来看，这远远没有得到充分利用。1978年美国发射了第一颗海洋卫星(Seasat)，带上了微波传感器，实现了合成孔径雷达的星载化。1981年美国"哥伦比亚"航天飞机的发射成功，为航天遥感又提供了一种灵活、经济和有效的工作平台。

目前，国际上已成功地发射了3千多颗宇宙飞行器，包括各种卫星(气象卫星、陆地卫星、海洋卫星)、飞船、宇宙探测器等。主要用于军事和民用的观察、探测、通讯、定位等方面。世界上有220多个地面站直接接收气象卫星图象数据，有100多个国家应用美国陆地卫星数据，已建立与正在筹建的接收和处理陆地卫星的地面站达21座，遍布世界各地。

目前看来，美国在遥感各领域(包括数量、质量及规模上)仍处于领先地位。苏联、欧空局、法国、日本、加拿大等也都积极发展自己的空间技术，研制和发射自己的卫星系统。许多第三世界国家均把遥感列入国家发展规划，大力发展本国的遥感技术和应用。由于遥感活动本身超越国界成为全球性活动，国际联系和协作、国际学术交流均大大加强。

根据遥感信息的利用方式和效应，可以把遥感技术的发展划分为四个阶段：

1．瞬时（实时）信息的定性分析

在这个阶段，遥感技术主要作为一种环境监测和信息侦察的手段。选择特定的遥感仪器，进行专题探测。利用单一波段信息、图象记录和目视判读作为遥感应用的主要技术手段。也就是说，图象记录、显示、分析方法都较单一。如：用红外扫描仪进行林火监测、寻找地下水源和浅海淡水等；用测视雷达监测海冰、海面油污染等。

2．空间信息的定位分析

在这个阶段遥感技术主要作为一种自然环境与资源勘探的手段。它主要研究物质与能量的空间分布规律。利用多波段信息，进行图象匹配和光电分析仪器作为遥感应用的主要技术手段。如：资源调查、地质填图、农业区划、森林普查、土地利用等，工作中运用彩色合成、边缘增强等光学处理技术，进行一些特征信息提取以编制各种专题图、系列图。

3．时间信息的趋势分析

在这个阶段，遥感技术是作为生产管理和动态监测的手段。它主要研究地球表面物质与能量的迁移规律。利用周期性的遥感图象和数据，通过时间序列的对比，反映研究对象不同时间轨迹的动态变化。如：自然环境变迁、城市扩展、灾情调查等。

4．环境信息的综合分析，即多种来源信息的复合分析

随着遥感技术的发展，获取环境信息的手段越来越多，信息也就越来越丰富。它们包括了各种环境卫星系列、地面遥感遥测站网、地理信息系统、自动分类与自动制图系统以及情报资料网络系统等所获取的各种环境信息数据。这些环境信息数据的迅速积累，为多种来源的信息进行复合处理和综合分析提供可能，同时还促使建立起全面收集、整理和检索这些数据的空间数据库及管理系统，建立一些地学分析模型、计量分析模型或进行其它相关研究与综合分析。

尽管遥感技术发展迅速、应用广泛，但是从整个遥感技术系统看，许多国家曾出现或依然存在这样的局面：传感器落后于运载工具；图象数据的处理分析又落后于传感器的研制；而环境遥感信息机制的理论研究更落后于图象数据处理技术。这种现象是否存在，或程度如何，可以说是衡量一个国家遥感技术水平的一个标志，是发展本国遥感技术的关键。

80年代，遥感处在一场变革中。这场变革的关键在于航天遥感的实用化。实用化意味着遥感技术与应用从实验阶段到生产阶段的转化。虽然卫星遥感在许多领域的应用已取得明显的效果，尤其在灾害性天气预报、资源调查、作物估产、海洋渔业等方面已带来较大的经济效益。但总的看来，目前的遥感应用水平仍不能满足实用的要求。主要表现在：(1) 实时监测、处理的能力还不够；(2) 定量化分析的水平还不够，精度往往不能满足实用要求；(3) 遥感应用模型的建立还是个薄弱环节。遥感应用模型往往仅限于局部范围，在大范围推广过程中，对于复杂的环境条件下目标及其影象特征的多变性尚缺乏足够的理解。此外，遥感应用的规范化、模式化的研究尚需进一步加强。

航天遥感信息实用化的实现取决于以下三个方面的进展。

1．新一代传感器的研制，使遥感数据的质量有很大的提高

多波段扫描仪，从第一代四波段的 MSS，到第二代七波段的专题制图仪 TM，已发展到第三代推扫式 CCD 多波段扫描仪，空间分辨率不断提高（80 米→30 米→20 米→10米），并能获取三维空间数据。星载成象雷达也从第一代航天飞机成象雷达SIR-A，B，到第二代航天飞机微波试验器 SAMEX，现在已发展到第三代自由飞行成象雷达试验器 FIREX。此外，开拓新的工作波段，研制新的传感器，如微波扫描仪、激光雷达、智能传感器等。空间分辨率提高、波谱分辨率增加（即波段增多或变窄），数据精度提高。

2．地理信息系统的支持

随着新一代传感器的发展，人们可以获得数据精度高、数据量很大、并具立体成象能力的遥感数据。如新一代高分辨率传感器，在每个景象的遥感影象数据中所包含的信息量为 200×10^6—1000×10^6 字节，大约是现有传感器数据的 10 倍。这就给遥感数据处理和分析带来了一系列的新问题。同时，随着遥感数据的空间特性在数据处理和分析过程中越显重要，更需要建立起以空间特性为基础的遥感数据分析系统。

地理信息系统不仅可以科学地管理空间数据（包括不同时相的多种遥感信息，尤其是非遥感手段所能获得的环境背景信息），为遥感提供动态分析、综合分析的基础，而且可以根据不同应用目的，选择不同层次的信息，避免单一光谱信息分类的不足，通过有效的信息复合处理，把所要的信息提取出来进行应用分析。当然，遥感反过来也成为地理信息系统的一个重要的信息源。此外，地理信息系统向智能化专家系统的方向发展，把不同的专业知识与方法，通过计算机系统介入图象分析处理与辅助决策过程。这些都是提高遥感图象分析处理速度、精度与水平的重要条件。

3．遥感应用模型的深化

这取决于应用研究人员对地学规律、影象特征及其成象机理这三者的深刻认识和有机的结合。努力做到从单一传感器遥感数据分析，到多种来源数据的综合分析应用；从定性、定位判读和调查制图，到定量统计分析；从资源与环境的静态分布，到动态过程分析；从各种事物和过程的表面现象描述，到内在规律性探求。

遥感应用从实验阶段向实用化阶段的转化，将是一个十分艰巨的过程，需要各遥感应用领域的研究人员经过反复实践深入研究才能完成。

第一章　遥感信息的地学评价

第一节　地球观测系统

"遥感"(Remote Sensing)，即"遥远的感知"。它是一种远距离不直接接触物体而取得其信息的探测技术。"遥感"有狭义与广义的不同理解。

狭义遥感——主要指的是空对地的遥感。即在离开地面的平台上（包括卫星、飞机、气球、高塔等）装上遥感仪器，对地面进行探测。它主要以电磁波为媒介，包括从紫外—可见光—红外—微波的范围。换句话说，狭义遥感是把遥感作为对地球表面进行探测的一个立体观测系统。随着科学的发展，这个概念也在不断地发展。

广义遥感——包括空对地、地对空、空对空遥感。它不仅把整个地球大气圈、水圈、岩石圈作为研究对象(地球遥感)，而且把探测范围扩大到地球以外的日地空间（宇宙遥感)。从遥感利用的媒介来看，广义遥感包括：电磁波遥感（光、热、无线电波），力场遥感（重力、磁力)；声波遥感；地震波遥感。

例如：宇宙遥感所用的运载工具是宇宙飞船和各类宇宙探测器，所用的传感器是各种用于探测地球的传感器，研究对象是宇宙空间，包括月球、太阳系各行星以及其它星系。实际上，它已获取了大量数据，纠正了过去不少错误认识，如发现月球表面布满大大小小的环形山，有6种地球上未见的矿物，水星有稀薄的大气层等。这些资料有助于解决生命的起源、地球的形成、宇宙的演化、物质的本质等重大基本问题，并可进一步弄清大地构造和探测宇宙资源。可见，宇宙遥感是广义遥感中相当重要的一部分。

在气象方面，除了通常利用气象卫星对地球表面进行监测外，还利用了地对空遥感（如激光雷达从地面向空中探测）及空对空遥感（如气象卫星同时进行对大气层以外的外层空间探测)。如果不把这些信息考虑进去，那么遥感对大气的探测研究只能是很局部的信息。

在海洋方面，从海洋上空只能得到海洋表面，最深也不过水下10多米的海况信息，难以再深入下去。但是海洋占全球的2/3，海洋中蕴藏着丰富的资源，用声波、地震波从水面对水下探测应属于广义遥感的范畴。这样，遥感对于了解浩瀚大海，揭示海底奥秘以及开发海洋资源，也就能起更大作用。

在地球物理方面，从地球表面对地表以下、地壳内部进行探测，运用地震波、人工地震、重力、磁力等手段来获取地下信息(包括构造、岩层、矿体等)。目前已发展了地球物理卫星系列，包括美国的地磁测量卫星（Magsat)、日本的重磁场观测卫星(Magras)。

由此可见，若把遥感仅作为地球的一个立体观测系统，只考虑空对地，仅局限于电

磁波范畴，显然是不完整的，远远不能适应当前信息社会发展的需要。实际上，遥感技术的发展，早已把探测对象从地球加以扩展。所以，遥感概念若仅停留在狭义范畴，将是“作茧自缚”，使它的发展受到限制。这便是广义遥感的意义所在。

一、遥感信息源

讲到遥感信息的地学评价，是把遥感作为地学信息源来考虑的。众所周知，地学信息源除遥感之外还有许多，如野外调查、定位观测、统计数据……。这就是说，遥感仅仅是采集地学信息源的一部分。因而就提出了两个问题：一是遥感究竟能为地学提供哪些信息，今后是否可能提供更多的信息；二是从地学角度应如何更充分地应用遥感信息。这就是地学评价遥感信息的两个出发点。为了说明这个问题，先讨论一下遥感信息本身的属性。

（一）遥感信息的属性

1．遥感信息的多源性

遥感信息是多源的，它体现在以下四个方面：

（1）平台、载体的多层次

不同的遥感平台，其高度、运行速度、观察范围、图象分辨率等都不相同。它构成

表 1-1　多层次的遥感平台

	遥感平台		高度	分辨率	应用目的
航天遥感	宇宙飞船		250—900km		宇宙探测
	轨道卫星	气象卫星	36000km 800—1600km	1000—4000m	地球观测、天气分析、降水径流估算、雪被及全球性研究
		陆地卫星	200—1000km	10—80m	地球观测、地质构造、资源清查、环境监测等
		海洋卫星	700—1000km	25—10000m	海温、海流、海冰、海水污染等
	航天飞机		250km	20—40m	资源与环境调查、侦察
	探测火箭	资源火箭	200—280km	100—150km	资源与环境调查、侦察
		气象火箭	20—80km		气象、环境调查
航空遥感	气　球	飘浮气球	20—50km	10—15m	资源与环境调查、侦察
		系留气球	1—20km	1—10m	资源与环境调查、侦察
	航空飞机	高空飞机	10—20km	1—4m *	资源与环境调查、航测
		中空飞机	5000—8000m	0.5—1m *	资源与环境调查、航测
		低空飞机	500—4000m	0.1—0.5m *	资源与环境调查、航测

续表 1-1

	遥感平台	高度	分辨率	应用目的
近地面遥感	高塔	30—500m		定点观测、波谱测试、机制分析
	遥感车	10—30m		波谱测试、机制分析、仪器标定、胶片检验
	近地面观测	1.5m		实况调查、胶片检验、波谱测试

* 最高分辨率

了对地面有层次的一个立体观测系统。

（2）波段不同

遥感利用的电磁波谱范围主要是紫外—可见光—红外—微波。其中，紫外—远红外（0.3—15.0 微米）为光学波段。它包括 0.38—3.0 微米的反射波段以及 3.0—15.0 微米的远红外（对称热红外）波段。前者传感器所接收到的能量主要来自太阳辐射和地面物体的反射辐射；后者传感器所接收到的能量主要来自地面物体的热辐射。反射波段又可分为可见光波段(0.38—0.74 微米)、近红外（0.74—1.3 微米）和中红外（1.3—3.0 微米）波段。通常应用的摄影波段仅包括可见光和近红外波段。不同波长谱段的电磁辐射与物质的相互作用不同，即物体在不同波段的反射率不同。为此，已经研制了各种不同类型的传感器，设计了多种的波谱频道来获取信息（图 1-1）。

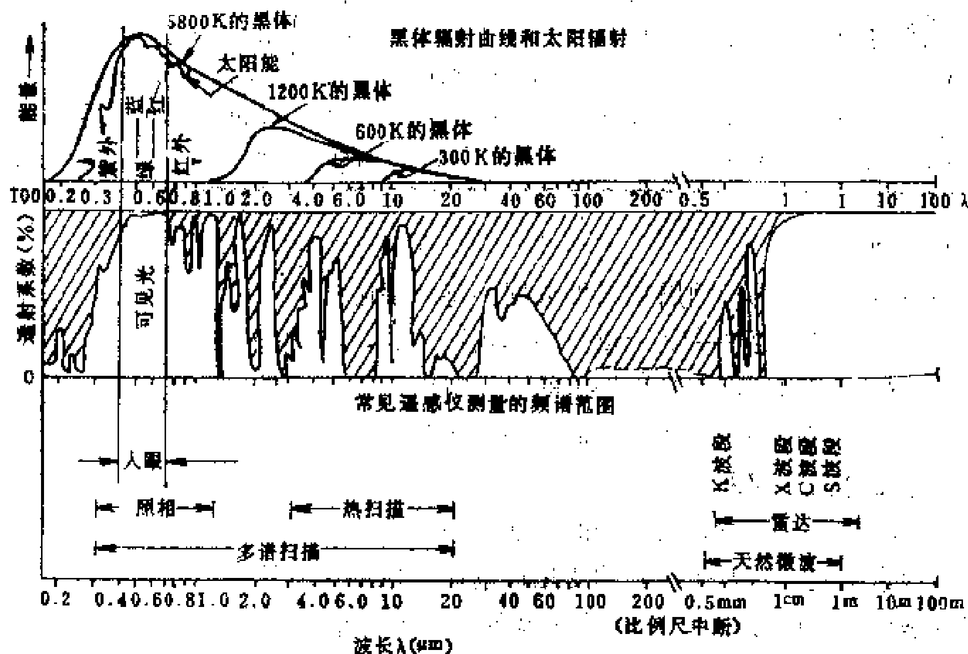


图 1-1 遥感应用的电磁波谱图

（3）视场不同

视场大小取决于平台高度、摄影机焦距或扫描仪扫描角度。一般说来，它与高度成正比。平台越高，视场越大，地面覆盖越宽；反之，地面覆盖越窄（表1-2）[4]。但

是，若高度相似，而各类传感器所采用的视场范围不同，在特定条件下所取得的信息也不一样。如美国“哥伦比亚”航天飞机飞行高度约 245 公里，当采用西德的 RMK 航空摄象机，每 23厘米×23 厘米的象片，覆盖面积为189 公里× 189 公里；当采用成象雷达（SIR-A），扫描角度43°，扫描宽度仅50 公里。可见，视场也是影响遥感信息源的一个因素。

表 1-2 传感器、高度、比例尺、分辨率、摄影范围之间的关系

高度 (m)	航测相机				多光谱相机				扫描仪	
	广角 23×23mm f=150mm		普通角 18×18mm f=210mm		9×9cm f=150mm		9×9cm f=100mm		分辨率	范围 $\theta_{最大}=77^{\circ}$
	比例尺 (1/m)	范围 (m)	比例尺 (1/m)	范围 (m)	比例尺 (1/m)	范围 (m)	比例尺 (1/m)	范围 (m)	2.5毫弧度 (m)	(m)
600	4000	920	2900	520	4000	360	6000	540	1.5	940
900	6000	1380	4300	770	6000	540	9000	810	2.25	1390
1200	8000	1840	5700	1020	8000	720	12000	1080	4.0	1870
1500	10000	2300	7100	1280	10000	900	15000	1350	3.75	2340
1800	12000	2760	8600	1550	12000	1080	18000	1620	4.5	2810
2100	14000	3220	10000	1800	14000	1360	21000	1890	5.25	3270
3000	20000	4600	14200	2550	20000	1800	30000	2700	7.5	4680
4500	30000	6900	21400	3850	30000	2700	45000	4050	11.25	7020
6000	40000	9200	28400	5110	40000	3600	60000	5400	15.0	9360
7500	50000	11500	35700	6420	50000	4500	75000	6750	18.75	11700

（4）时间不同

遥感探测器按一定的时间周期采集数据。每一幅遥感图象只是记录了某一瞬间的地面景象。如陆地卫星每隔 9—18 天重复采集数据一次，气象卫星每隔 0.5—2 小时重复采集数据一次……。它们的周期是由卫星的高度与轨道上的倾斜角所决定的。因而，对于同一区域我们可以获得一系列不同时间的遥感图象。

2．遥感信息的物理属性

遥感信息是多源的。它是由平台的高低、视场角的大小、波段的多少、时间频率的长短四方面因素决定。这四个因素的变化造成遥感信息本身具有不同的物理属性，即不同的空间分辨率（地面分辨率）、波谱分辨率、时间分辨率。严格地说，从遥感应用角度评价一切遥感信息都必须综合考虑这三个属性。这就是评价遥感信息的三个标准。这部分内容将在后面详述。

（二）遥感研究对象的地学属性

在遥感应用研究中，相应于遥感信息本身的三个物理属性，遥感研究对象也存在着

三个地学属性，空间分布、波谱反射和辐射特征、时相变化。这是一切地物在自然界存在的基本形式。

1．空间分布

任何地学研究对象，均有一定的空间分布特征。根据空间分布的平面形态，把地面对象分为三类：面状、线状、点状。可以从以下几个方面来确定其空间分布特征：（1）空间位置，（2）大小（对于面状目标而言），（3）形状（对于面状或线状目标而言），（4）相互关系。前面三个特征是就单个目标而言，可以通过一些数据来表示。

面状目标的空间位置由其界线的一组x、y坐标对来确定，并可以相应地求得其大小和形状参数。目标大小参数指面积（S）和边界间距。边界间距由一组数值（l_1，l_2……l_n）组成。形状参数(M)的确定可以有不同的方法。通常可以由下式确定：$M=\frac{L}{S}$这里L为周长。对于自然景观单元来说，目标的大小和形状参数常可反映出区域分异的程度。

线状目标的空间位置由其线性形迹的一组x、y坐标对确定。

点状目标的空间位置由其实际位置或中心位置的x、y坐标确定。

最后一个空间分布特征——相互关系，则是就某个区域内地面目标集合而言。往往地面目标受某种空间分异规律的影响，其分布呈现一定的空间组合形式，这种形式仅通过单一目标是难以反映出来的。如区域内不同类型地质体的有规律排列，以致形成独特的空间结构——线形结构、弧形结构、环状结构、山字型结构等。这种特有的空间组合形式——空间结构，可成为遥感图象目标识别的一个重要依据。

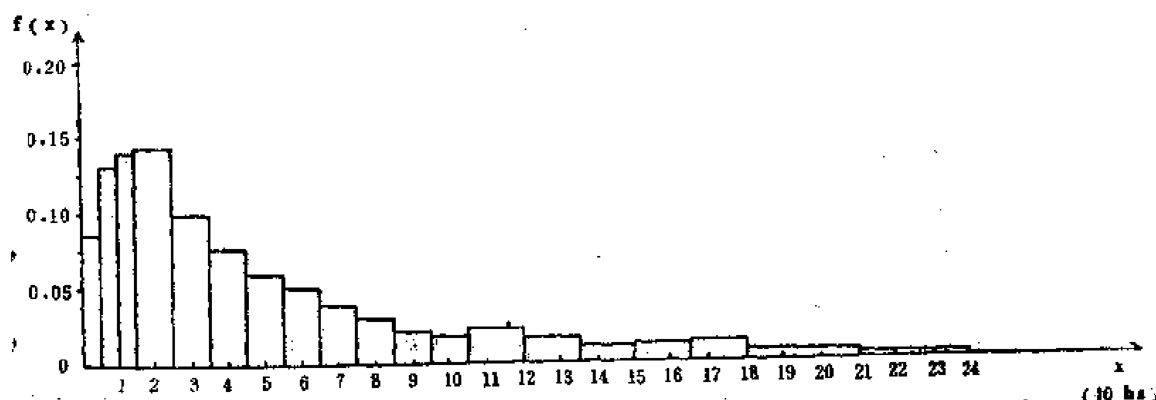
地面目标的空间分布特征受地域分异规律的控制。一般说来，我国南方地形、构造较为复杂，造成其它环境要素组合的复杂化，比如水系、植被、土地资源条件和土地利用方面差异较大。因而，从北往南自然景观的分异越来越明显，类型增多，基本景观单元变小，且形状复杂程度增加（图1-2）[7]。

不同的地面对象有着不同的空间分布特征。在遥感应用研究中，一方面要分析探测对象的空间分布特征以选择具有适当的空间分辨率的遥感图象，另一方面，探测对象的空间分布特征又是在遥感图象上识别目标的基本参考。

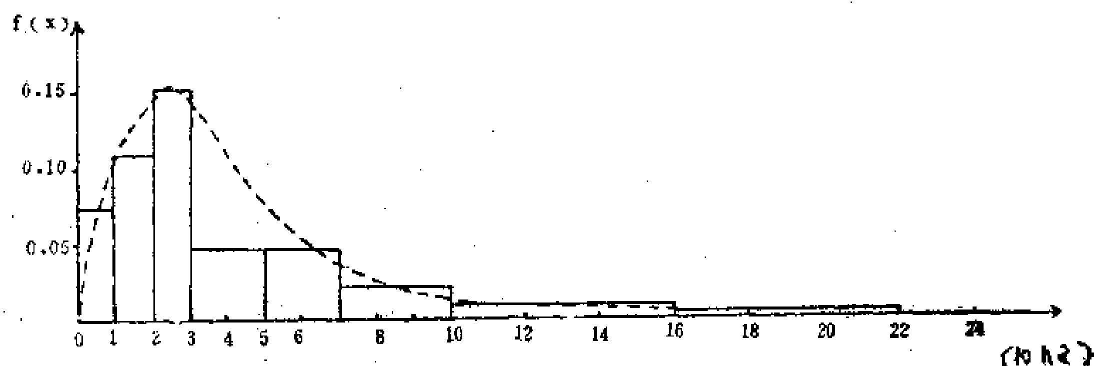
应该说明的是，在图象处理时，即当用模式识别算法来处理遥感数据时，主要用的是光谱特征的亮度值，而空间特征的有效利用率远不如光谱特征。地表特征的识别主要依赖于它们的光谱响应特征及其变化。如地物的形状与大小，仍然是依赖于它的光谱特征与周围物体的不同（即色调的变化）来反映的。至于空间特征中的纹理结构，也是通过较小区域内光谱响应特征（色调）的变化频率来反映的。

2．波谱反射和辐射特征

地面景物（或地物）均有自己独特的波谱反射和辐射特性。物质的电磁波的发射和吸收作用是由于组成物质的最小微粒——原子的振动、分子的转动及电子的能级跃迁所引起的。从高能向低能状态转化，要释放能量发射一定波长的电磁波；从低能向高能状态转化，要吸收外来能量。因此，任何物体本身都具有发射、吸收和反射电磁波的能力和特征。这是物体的基本特征。相同的物体具有相同的电磁波谱特征，不同的物体由于



(a) 腾空景观单元面积概率分布直方图



(b) 东北胜利农场景观单元面积分布直方图

图 1-2 在同一分类等级下南北景观单元大小差异

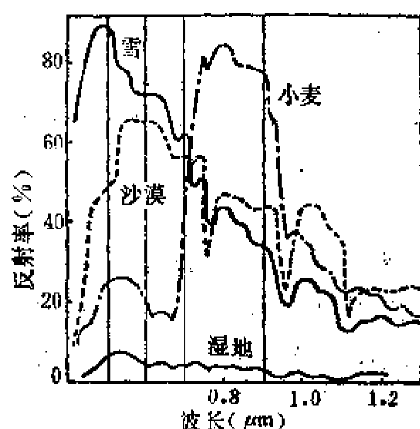


图 1-3 各种物质的反射率

物质组成和结构不同具有相异的电磁波谱特征(图1-3)[3]。因而可以根据遥感仪器所接收到的电磁波谱特征的差异来识别不同的物体——这就是遥感的基本出发点。

地物的反射和辐射特征可以在地面利用各种类型的光谱辐射仪测量得到。以植物的波谱特征为例(图 1-4)[2]。在可见光区域，由于色素的强烈吸收，植物叶的反射和透射都很低。叶绿素大体上在以 0.45 微米为中心的蓝波段及以 0.67 微米为中心的红波段吸收大量的辐射能，而在这两个吸收带中间吸收相对减少。因此在 0.54 微米附近形成绿色反射峰而呈现绿色植物。若叶绿素不能正常生长或被破坏，将使这两个吸收带的吸收减少，反射率升高(特别是在红色区域)，于是绿色植物则呈现不正常色调，如患病植物显淡黄色或“缺绿病”。在近红外区域，叶的反射及透射能量约各占入射能量的一半，被叶子吸收的能量极少(少于 5%)。因而在 0.74—1.3 微米间形成高反射。这是由于叶肉细胞结构的多重反射引起的。细胞壁和细胞间空隙的折射率不同，导致了这种多重反射。正是由于不同植物种类的叶肉

结构差异很大，所以植物在近红外的反射差异比在可见光区域大得多(图1—5)。在中红外区域（约1.35—2.5微米），由于绿色叶子细胞膜之间和内部的水分含量高，故绿色植物的反射率受以1.45、1.95、2.7微米为中心的水吸收带的控制，入射能量中的大部分被叶子中的水分所吸收，仅小部分被叶子反射。（高斯曼Gausman，1978）发现多汁植物与非多汁植物在三个水吸收带之间的两个反射峰（1.65及2.2微米）上差别非常明显。所有健康绿色植物的基本光谱特征都很相似，即光谱响应曲线虽具有一定的变化范围而呈有一定宽度的波谱带，但总的形状变化是基本相似的。但是，随着绿色植物种类、结构的不同，它的反射波谱的光量也有所不同。这就是说，不同类型植物之间光谱响应曲线总还存在着一定的差异（图1-5）[3]。这种差异可以用来鉴别不同的植

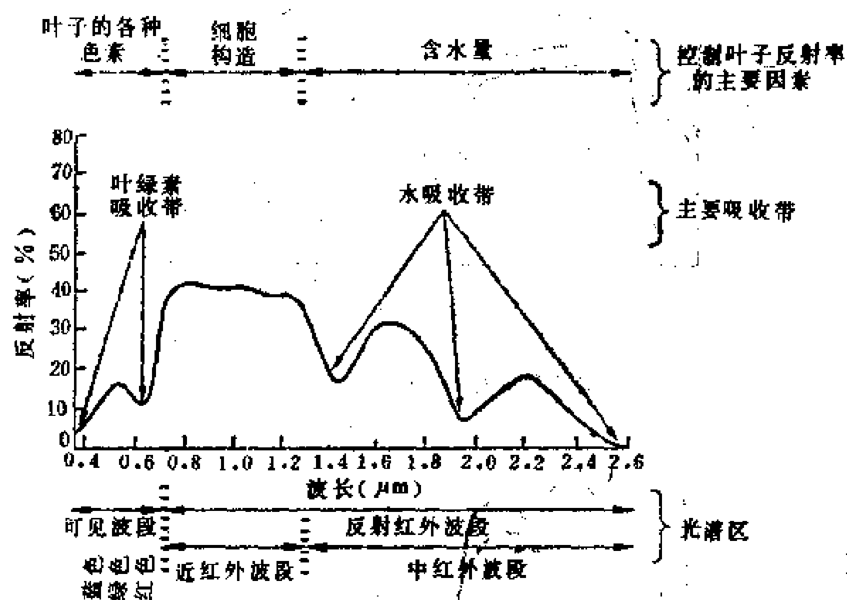


图 1-4 绿色植物的主要光谱响应特性

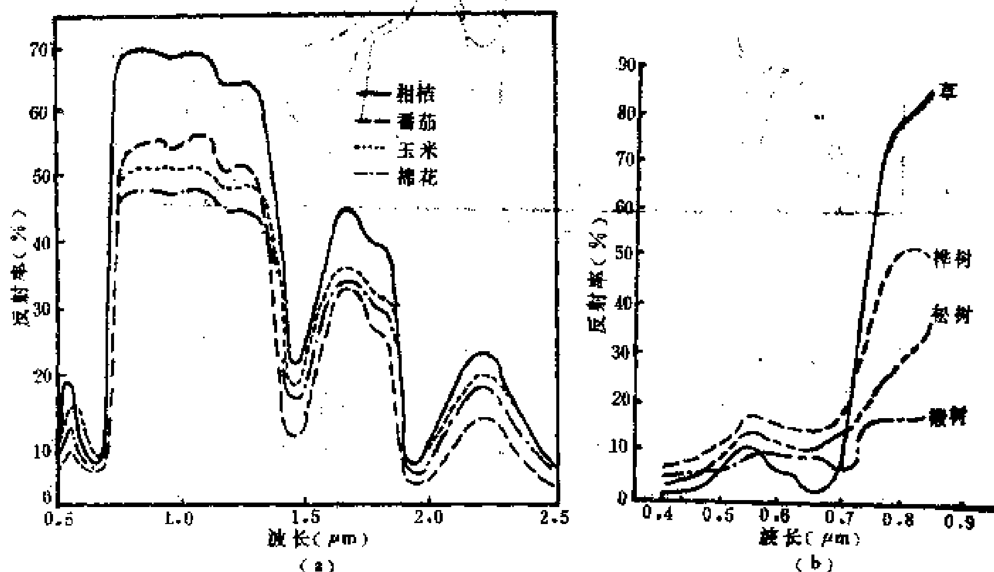


图 1-5 不同植物光谱曲线比较图

物类别。即使是同一种植物，随着叶子的新老、稀密、季节、土壤水分和无机质含量的差异，或者受到大气污染和病虫害等的影响，它在各个波段的反射率也是不同的(图1-6)[2]。有时在可见光波段反映不明显，而在近红外波段却能清楚地观测到这种变化图(1-7)[3]。

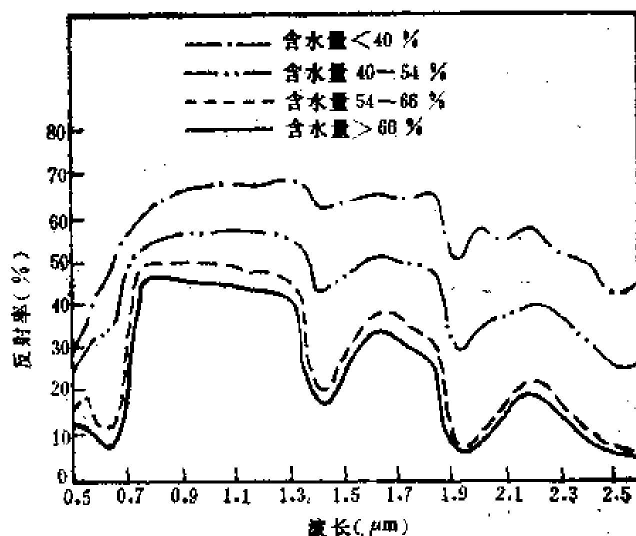


图 1-6 水分含量对玉米叶子反射率的影响

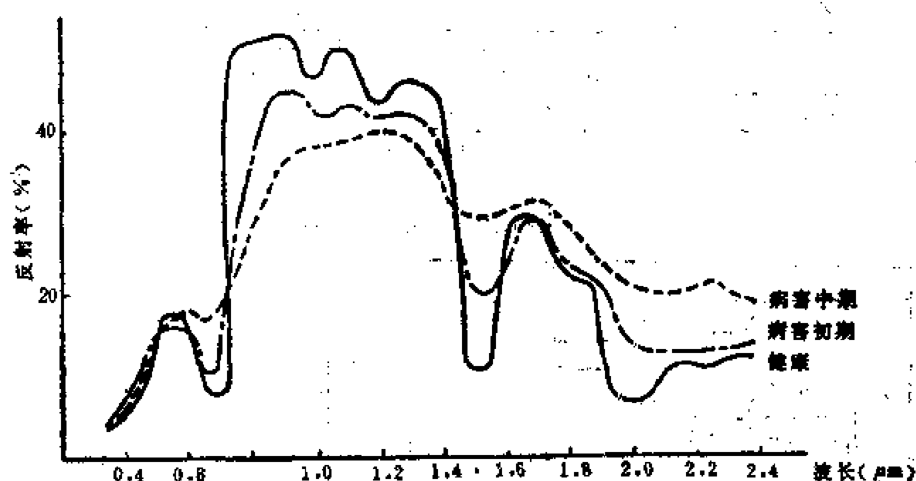


图 1-7 榕树的反射特性

从遥感找矿角度看，蚀变岩是一个主要的探测目标。这不仅是因为蚀变岩往往是热液矿床的近矿围岩，不同蚀变类型常表明一定矿种的存在，所以蚀变岩存在一定程度上代表了找矿方向，而且是因为蚀变矿物本身有特殊的反射光谱特征*。蚀变产物常表现为铁的氧化物、碳酸盐矿物以及石英、粘土类矿物等，如叶腊石、蒙脱石、高岭石、方解石、钠明矾石、白云母、黄钾铁矾等。蚀变矿物与岩石的光谱特征，在可见光到近红外段（0.35

* 丁暄，美国遥感地质找矿的地球化学信息试验研究概况，1981年。

—1.1微米)，是由铁离子的电子跃迁引起的；而近红外—中红外(1.1—2.5微米）段，其光谱信息则是由组成矿物或岩石的羟基分子团的振动作用产生的。

蚀变矿物在1.4微米和1.9微米附近大都出现特征光谱。但这两个波段都属于大气屏障，即为大气所吸收，不利于被动遥感，唯独石膏（1.745微米)和钠明矾石（1.762微米）例外。在2.0—2.4微米的波段，不仅蚀变矿物有强的光谱反应，而且大气特别透明。但由于太阳光的能量随波长而急剧减小，因而用锑化铟和砷化铟这类敏感的快速响应的传感器方可接收。在2.2微米附近一般表现为强吸收特征（石膏、方解石、叶腊石、黄钾铁矾除外)。这是蚀变岩中含铝的粘土矿物的表征。而在多数未蚀变的地质体中，含铝的粘土矿物是缺乏这种特征的。可见2.2微米的光谱特征具有区分是否蚀变的意义。

蚀变岩石光谱主要是所含特征矿物光谱的反映。戈茨（Goetz）和科内尔（Conel）在70年代通过野外光谱测定，认为1.3，1.6，2.2微米是区分岩石是否蚀变的最佳波段。1.25，0.95，2.20，2.15，2.05，1.75，2.45，2.10，1.60，1.55和0.75微米是区分铀蚀变岩石、热液蚀变岩石以及非蚀变岩石的最佳波段。根据24个通道的多光谱扫描器数据分析装置（MSDS）对不同地质情况试验区所记录的光谱反射率和发射率信息，通过阶式辨识分析，得出识别岩石的最佳波段依次是1.18—1.30，4.5—4.75，0.46—0.50，1.52—1.73以及2.10—2.36微米。

美国哥伦比亚大学张圣辉和柯林斯（William Collins）等人进行生物地球化学调查，查明金属元素对生物的毒害效应，从而建立遥感生物地化找矿方面的新认识。他们在美国的科特盆地硫化物矿床的试验，在0.91米（3英尺）厚的含Cu、Pb、硫化物的方解石脉上，土壤的Cu浓度为10000ppm，Pb为1500ppm；Zn为400ppm，还有异常的Ag、Au等。图1-8表明硫化物带上的植物的主要叶绿素长吸收边上的特征相对于正常

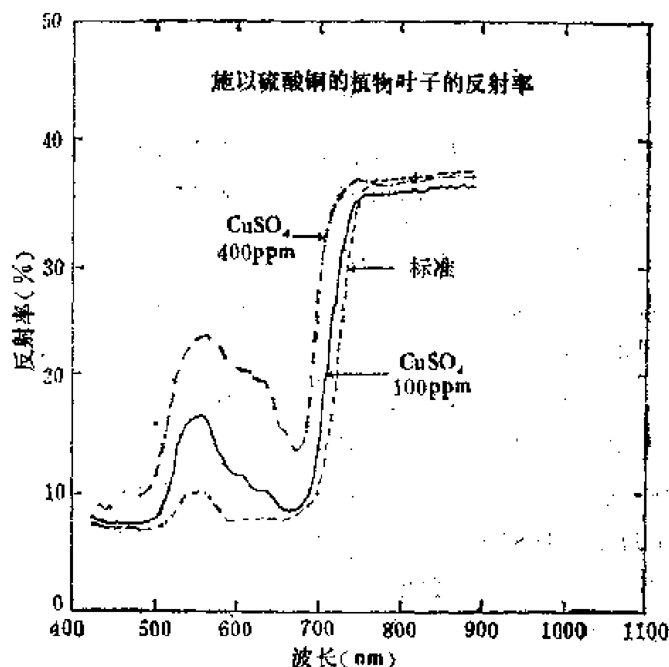


图 1-8 科特盆地的背景和异常植被以及白色土的光谱图形(据丁暄)

植被的向短波方向移动（蓝移）约10纳米，同时也伴有叶绿素短波吸收边上的光谱特性变化，主要受矿物压抑的光谱区是介于550和750纳米。实验室研究表明，由于没有野外背景值的干扰，受压抑植物的这种光谱特性表现得更明显（图1-9）。他们的结论是：1400—1900纳米和2000—2500纳米波段是遥感地质找矿的两个主要大气窗口。陆地卫星的TM包含有这两个中红外波段，因而TM将提供全球矿产资源评价和勘探的重要信息，将推动遥感地质矿产应用研究的新发展。

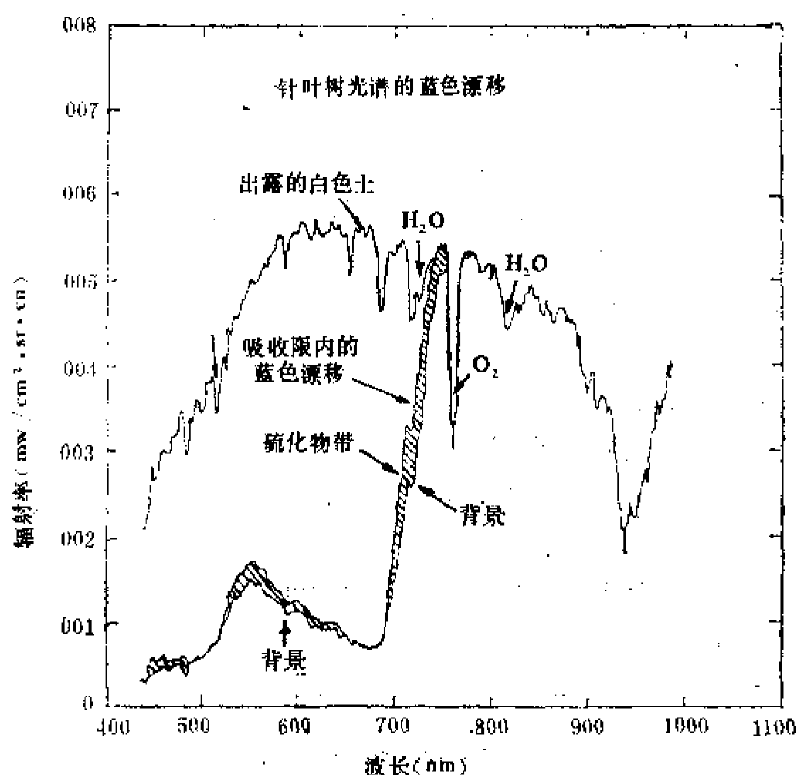


图 1-9 实验室生长的高粱的双反射光谱受金属的毒害作用在可见光区和近红外吸收边（700—750nm）表现明显（据丁暄）

地物波谱特征的研究，不仅为传感器的研制、频道选择直接提供科学依据，而且是在具体应用中选择合理的波段、波段组合以及在计算机遥感图象处理中建立影象分析的定量标准，有效地提取专题信息和进行成象机理分析的重要依据。所以，长期、系统的地物波谱数据测定以及特征研究是遥感重要的基础研究之一。对于不同的地面覆盖类型和地物特征，系统地测量并记录光谱反射率，建立相应的地物波谱特征数据库。这在国内外均做了大量的研究和实验工作。如美国普渡大学（1980）建立了一个美国土壤反射特征数据库；美国JPL（1981）建立一个地质野外光谱数据库，存储了他们自己测量的大约1万个岩石和其它地物的光谱数据。

应该说明的是，光谱特征随时间、地点、环境背景等的变化而变化。它的影响因素很多，是一种综合作用的结果。对于任一特定的地表特征并不存在"标准光谱值"。为了避免错误，一般采用"光谱响应"的概念。它表示某一组定量的，却又是相对的测

量值。这组值通过一组特定的多波段扫描仪数据与某一种特定的地表特征相对应。

3．时相变化

地面对象都有时相变化。这里有两方面的含义。一是自然变化过程，即其发生、发展和演化过程；二是节律，即事物的发展在时间序列上表现出某种周期性重复的规律。如太阳黑子活动11年一个周期，植物生长有它的季相节律。节律有长有短，并不是所有的地面对象都具有这一特征。但是，任何一个遥感研究对象都处于一定的时态之中，有它的时相变化过程。遥感信息是瞬间记录，因此，在分析遥感资料时必须考虑研究对象本身所处的时态，不能从一个瞬时信息中来超越它能反映的这个范围。

如编制黄土高原土地利用图，必须选择相应时间的遥感图象。在黄土高原上，夏季与冬季的土地利用呈截然不同的景象。夏季，坪川上作物葱翠，塬上牧草如茵，25℃以下缓坡上层层梯田，只有陡坡因水土流失黄土裸露。而冬天几乎全是裸露黄土，寸草不生。这种农事历、耕作制度和自然界物候的差异，不仅在西北干旱地区十分显著，就是在复种指数很高的东南地区，在干湿季明显、垂直带复杂的西南山区，都将给土地利用、土地覆盖的类型分析及面积统计带来不可忽视的影响。因而，若利用遥感图象来编制区域土地利用图的话，必须使遥感信息的时间分辨率与遥感对象的时相变化相对应，否则就难以达到预期的应用目的。

另一方面，遥感研究时相变化，主要反映在地物目标光谱特征随时间的变化而变化上。如同一作物在同一地区，因处于不同生长期，其光谱特征不同。这属于光谱响应的时间效应，可以通过动态监测了解它的变化过程和变化范围。充分认识地物的时间变化特征以及光谱特征的时间效应，有利于确定识别目标的最佳时间，提高识别目标的能力。如在泰国热带雨林地区，柚木为很珍贵的木材。尽管它的树冠大，直径可达30米，树高达30—50米，但在热带茂密的雨林中，是难以识别的。但是，假若抓住它的季相变化规律，即每年4月上旬至5月下旬开小白花，万绿丛中一点白，则不难在丛林中把它与周围树种相区分，从而一一识别出来。

图1-10[2]为玉米和大豆两种作物在二维空间中的时间变化状况。在美国中部，这两种作物均为春季种植，常为行间作物，于秋季收割。在春季遥感图象上，因刚种下，它们几乎与裸土无异。以后植冠开始生长发育，逐渐成熟，色转褐，最后植冠渐渐消失只剩下枯叶残留在裸土上。在整个作物发育过程中，两种作物的光谱响应是十分相似的。但是，两种作物叶子本身的光谱特征必有微小的差异。再加上，两者间种，一个长得矮而密，另一个长得高，植株几何形状的差异将导致不同的阴影效果，因而显露的裸土总量不同。这些差异随着时间的变化而不同。从图上可见，在作物种植后的第30天，两种作物的光谱响应差异最大，利用第

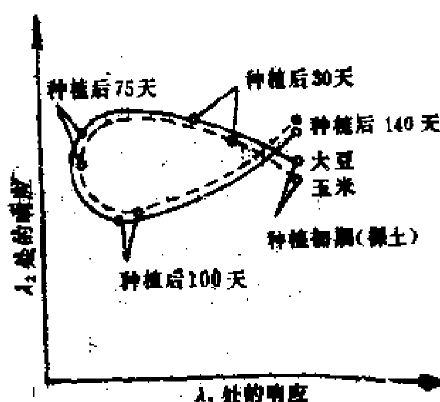


图 1-10　在二维空间中的时间变化

30 天的光谱数据，便能将它们加以区分。可见，第 30 天是收集数据的最佳时间。这充分说明了地物时相变化特征在遥感应用中的实际意义。此外还说明了，不仅要熟悉研究对象的季相节律及光谱特征的季相变化，而且应熟悉易于与它混淆作物的有关特征，才能有效地区分它们。

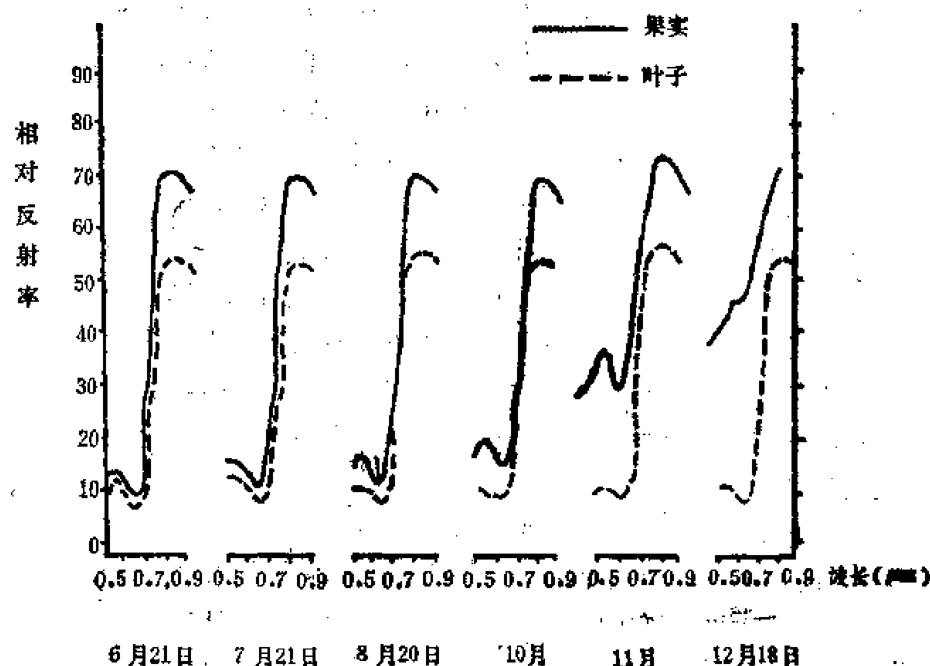


图 1-11 Redblash葡萄及其叶子不同季节的反射光谱(据D.E.Escodar)

美国农业部从果实与叶子的不同反射光谱中寻找识别葡萄果实的最佳季节，以作水果的估产[8]。

从图 1-11 中可见，在可见光部分(0.5—0.75 微米)，由于果实与叶子的叶绿素色素对光的强烈吸收，在 6 月 21 日、7 月 21 日、8 月 20 日果实与叶子的反射率均低，至 10 月、11 月、12 月叶的反射率仍保持稳定，而果实的反射率逐渐增加。近红外部分(0.75—0.9 微米)，在 6 个时间中果实与叶子的反射率均较稳定。显然，选择后三个时间的可见光图象就更容易区分出葡萄的果实与叶子，从而作出果实产量的预报。其中又以选用 12 月 18 日最佳时相与 0.5—0.75 微米的最佳波段的图象方能收到最佳效果。

以上分析说明，若要正确判读遥感数据，必须透彻了解遥感研究对象的地学属性(空间分布、波谱反射与辐射特征及时相变化）以及由于时间、地理位置变化而引起的光谱响应的变化（即光谱响应的时间效应与空间效应)，并把它们与遥感信息本身的物理属性（空间分辨率、波谱分辨率、时间分辨率）对应起来，才能取得较好的分析效果（表 1-3)。这就是说，当你选择遥感资料时，必须考虑这些资料是否足以反映研究对象的空间分布，是否符合波谱特征和时相变化规律。两者相符则可能成功，反之，某本条件不具备则不可能成功。所以，下面我们将继续讨论遥感地学评价的三个标准。当

然，这只是问题的一个方面。另方面，是否能成功还取决于选用什么样的遥感地学分析方法，这就是第二章将要讨论的内容。

表 1-3 地球资源监测

	分辨率 (m)		间隔时间	覆盖面积	遥感器	数据速率（字位/日）	
	详测	勘测	(日数)	(km^2)	(波段)	最小	最大
农业	10—30	30—100	7—21	3×10^6	12	2×10^{10}	5×10^{11}
测绘	3—20	20—200	1825	9×10^6	3	3×10^8	2×10^{10}
森林	10—50	50—200	7—30	3×10^6	8	3×10^9	3×10^{11}
地理	6—30	6—100	365	9×10^6	3	1×10^9	3×10^{10}
地质	6—10	30—200	365	2×10^6	4	2×10^8	6×10^{10}
水文	3—100	50—250	10—20	1×10^6	4	2×10^9	4×10^{11}
气象	1000—2000	1000—4000	0.25—1.0	30×10^6	2	1×10^8	2×10^9
海洋	20—300	200—1000	14—30	15×10^6	4	1×10^6	1×10^{11}

二、遥感信息地学评价的标准

(一) 空间分辨率

1. 定义与表示法

空间分辨率 (Spatial resolution)，又可称为地面分辨率 (Ground resolution)。前者就记录的图象而言，后者就地表而言，其意义相同。

所谓空间分辨率指在一个影象上能够详细区分的最小单元的尺寸或大小。

空间分辨率有三种表示形式：

(1) 象元 (Pixel size)，每个象元的大小在地面上对应的范围，即在地表与一个象元大小相当的尺寸，用米表示。如陆地卫星 MSS 图象中一个象元相当于地面 57米×79 米的面积。一般笼统地讲，它的空间分辨率为 80 米；TM 图象中一个象元则代表地面 28.5 米×28.5 米，它的空间分辨率为 30 米（彩页 5 b)。

(2) 象解率 (Photographic resolution)，指胶片上 1 毫米间隔内包含的线对数，用线对/毫米来表示。一条白线加一条黑线构成一个线对。象解率可以转换成为相应的象元大小

$$象元大小=\frac{每线对宽度（毫米）}{2.8}$$

同时，它又可以根据图象的比例尺转换成相应的地面分辨率。

(3) 视场角 (IFOV)，指电子传感器的瞬时视域，用毫弧度表示。视场角小，得到的光通量小，空间分辨率低；反之，空间分辨率高。遥感图象的“亮度”概念，是指视场内的平均状态，与地面点的反射率之间相关，但并非十分对应。

实际上，每一地物在图象上的可分辨程度，不完全决定于空间分辨率的绝对值，而

是和它的形状、大小以及它与周围物体相对亮度及结构的差异，也就是与它的背景值相关。如铁路线本身宽度仅15—20米，远不到一个象元（80米），但在陆地卫星图象上却往往可以清晰地识别出来。这是与它的形状、大小的特殊性有关，同时也与其背景值有关。当铁路通过森林时，基本看不见，而铁路通过沙漠、水域等背景值较高或单调的地区，则清晰可辨。甚至有些宽度仅10米的公路，穿过地物与周围明显差异时也能辨别。故宫外的护城河宽度51米，不够一个象元，但卫片上很清楚且相当连续。这是因为水的照度超过周围地物，因而占据了整个象元。各国的导弹发射基地，由于具有独特的形态（中心一个发射井，周围有相应的放射状公路）和较单一的背景值也就不难在陆地卫星图象上识别出来。

由此可见，空间分辨率的数值只是一个粗略的等级概念。它表明影象细节的可见程度，但并非完全可以通过精确计算得到效果的，必须考虑到周围的环境因子。

2．地面分辨率与遥感信息的传递过程

遥感过程是个信息传递过程，可以从以下几方面加以论述。

（1）地面目标是多维模型，而遥感信息是二维的平面记录

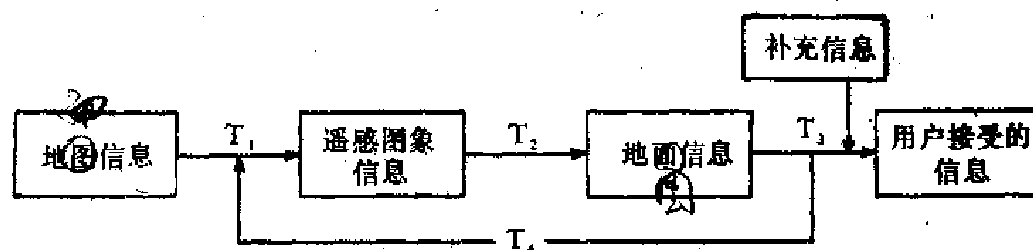
地面目标是多维模型，如森林，有分布面积（平面上x、y坐标）、高度（空间上的z坐标）、时间（时间坐标）等。但是所有遥感手段得到的信息均压缩（简化）为二维模型，无论摄影还是扫描都是个平面记录。最后又要让使用者（分析、判读运用者）恢复它成为多维模型。即认识这片森林，它是以云杉为主，高约30米，是处于生长的中年期……，这些概念在遥感图象上是不充分的，它要靠森林的其它因子来补充。

（2）地面目标是无限的，而遥感信息是有限的

地面目标作为一个连续的信息源，它包含的信息是无限的。这个“无限”有两层含义，一是指空间上可以无穷地分割它；二是指时间上，它的自然发展过程是连续的，它总不断地向自然界提供信息。所谓遥感获取信息，就是把地面的无限信息源有限化，即离散化，在图象上表示出来。也就是把地面信息离散化。象元的大小反映了离散化程度。这样就限制了遥感空间信息的载负量。

（3）遥感过程是个信息传输过程

遥感信息传输过程如图1-12所示。



T_1 遥感系统的信息获取、传递，即成象过程

T_2 遥感信息的专题特征提取、分类，并以制图符号表达在二维平面上

T_3 地图使用者的视觉感受和理解过程

T_4 根据用户的需求，对整个系统进行适当调整

图 1-12 遥感信息传输过程

地面信息是多维的、无限的，遥感信息是简化的二维信息，是有限的。由于遥感传输信息的能力（包括光谱的、辐射的、空间的、时间的）都受到技术系统本身的限制，即从地面信息——遥感信息这个信息获取、传递过程为成象过程（T_1）。它将地面原型变为模拟的数据，必然要损失一部分信息。从影象特征、模拟数据反演地面原型为遥感解译过程，这个过程往往要通过一个遥感专题制图过程（T_2）。遥感信息的解译制图过程是把遥感信息特征化提取出来，并以符号表达在二维平面上。人们去认识、去识别这个目标时，又使离散化、特征化了的信息加上人们的理解，重新恢复出原有的连续模型。即人们的视觉感受和理解过程（T_3）。既然信息传递过程要损失部分信息，那么在认识一个物体时，仅用遥感信息是不够的，需要补充其它信息量。过去往往补充些非遥感信息如地面调查、统计资料等，现在往往需要借助于地理信息系统的支持。最后可以根据用户的需求，对遥感系统的获取、处理手段等整个过程进行适当调整。这实际上是个反馈过程（T_4），使所得的信息更符合于用户的要求，符合于客观规律。

从原理上懂得遥感有一定的局限性对我们的具体工作是很有好处的。它可以避免工作中的盲目性。如有些人对遥感抱有不切实际的要求，总希望遥感资料不借助于其它信息就能解决实际问题。另一部分人则总感到遥感解决不了什么实际问题。这实际上是对遥感技术本身的局限性理解不足。既然遥感过程损失了信息，自然要设法利用其它手段把损失的信息再补充进来。这是无可非议的。

3．地面分辨率与影象分辨率

影象分辨率指整个遥感系统最终反映在影象上的实际分辨率。它实际为空间分辨率（地面分辨率）在不同比例尺的具体影象上的反映。用 g 来表示。

$$\frac{g}{G}=\frac{1}{m}=\frac{f}{H} \qquad G=g\cdot m$$

式中，g为影象分辨率（即图象上一象元在 x、y 方向的距离）;G为地面分辨率（与象元相对应地面上 x 或 y 方向的距离）;1/m 为遥感图象的比例尺，f 为焦距;H 为平台高度。

遥感系统的空间分辨率确定遥感图象识别和分类的最基本的信息单元——象元。如陆地卫星 MSS 的地面分辨率为 80 米，在1:100万的图象上，其影象分辨率为 0.08 毫米，在1:10万的图象上，其影象分辨率则为 0.8 毫米。

4．地面分辨率与象元

卫星重复覆盖同一区域时，对地面目标的空间位置是不固定的，但其空间分辨率是固定的。这种空间分辨率对应的范围就是象元。对于不同时相的同种卫星影象，相应位置的象元在地面并没有固定的位置，而是稍有变化的。如一个小湖，尽管它仅占1/3象元，但因水比周围地物的照度大，反映出整个象元都是水。若第二次扫描偏离了整个水体，仅留下半个湖和周围的房子，那么该象元表现的就不是水而可能是房。再一次扫描的象元又可能被草或树代替。因此无论什么样的软件系统中，若运用不同时相的遥感图

象，或对遥感图象进行重新采样时，所得的分类结果是有差异的。在进行多时相图象匹配时，要考虑到这一问题。

5. 遥感信息的概括能力

地面分辨率确定了遥感系统获取地面源信息时的离散化程度。换句话说，遥感信息具有一定的概括性。从地面信息到遥感信息，经历有限的处理过程，它损失了一部分信息，则必然产生一种概括能力。如同制图过程一样，从大比例尺图到小比例尺图要去掉许多东西，而保留一部分信息。遥感的概括能力也是很明显的，而且它的概括程度是随着地面分辨率的降低而增大的。假若一个单位面积中有5条河流，其中宽10米的有4条，宽20米的有1条，扫描处理后可能仅留下1条宽20米的河流，其余4条不见了，这便是概括（简化）能力。它在遥感上具有重要意义，若不删去这些细节，许多宏观概念便难以建立。

以郯庐大断裂为例。它是我国东部最著名的一条深大断裂带，北北东向延伸大约2000多公里，宽约200多公里，由一系列断裂带组成。在没有卫片时，依据常规野外调查和航空象片只能分析出一些不连续的断层和断裂带，而难以将它作为一个整体南北贯穿起来。即使对于延绵800公里的郯庐段，也经历了数十年的认识过程。在山东、江苏、安徽等地均有明显的断层出现，但由于其间平原覆盖，它们之间的联系还难以搞清，其南北延伸问题也长期意见分歧。在卫星影象上，这些断裂构造可以通过隐纹、色调、图案、微地貌、山形、土壤含水性等特征提供大量信息，给予清晰地显示。卫星图象的高度概括性，使郯庐断裂有可能连成一个整体，使过去不甚清楚或没把握处进一步得到证实，使错误处得以纠正。从图象上可知，郯庐断裂往北跨过渤海，经辽东半岛西侧、阜新、鞍山一带，直达佳木斯进入苏联境内；往南隐伏于大别山东麓，到鄱阳湖出口处大致沿赣江行进，再转为雁行式直达广东……。同时，在断裂地带航磁证实为一弱磁场变化带；重力资料出现重力梯度带；钻探资料证实断层两侧中、新生界凹陷轴线的走向不同；渤海湾海洋地质工作，通过海洋勘探船运用地球物理数据证实渤海底的北北东向断层，从而把山东半岛的郯庐断裂带与辽东半岛西侧的北北东向断裂带连接起来，并进而提出渤海裂谷与华北裂谷的概念；全球构造的研究认为它是太平洋板块与欧亚板块之间的断裂带，其东侧为太平洋板块的俯冲构造带，其西侧为欧亚大陆块，这为研究大陆飘移学说提供了宏观逼真的图象。以后地震界也承认断裂以西为浅源地震、以东为深源地震，沿此断裂多次出现8级大地震。后来又发现我国中生代煤田分布到这里再不过界……。这样，这条线越来越清楚，越来越被大家接受，得到公众承认。有人说，以前郯庐断裂在脑子里，现在总算看见它了。

50年代的地学工作以地面考察为主，以点连线，以线推面，从局部到整体的工作方法。比如1956年的祁连山地区地图，是根据当时唯一的10条剖面资料，来推断构造等编制而成。此图延用了20年。现在，卫星图象的利用革新了制图过程，人们可以从逼真的影象上直接看到许多地理地质现象的空间分布，得到整体概念来重新认识地学规律和更新地图。

可见，遥感信息的概括能力不仅使我们认识了许多新问题，纠正了过去不正确看

法，从而进一步认识了地学规律。同时，在地学专题研究方面，对一些具有宏观结构的科学问题还给予我们一些重要启示和新概念。而这些新概念的获得是利用了卫星遥感覆盖率大、概括性强的特点。

由此看来，遥感资料并非单纯能从地面分辨率的大小来决定用途大小的，而要看它研究什么对象，解决什么问题。对于不同应用目的，要求的概括程度不同，选择的地面分辨率也完全不同。

表 1-4 摘要整理于美国Lowell Krawitz等人（1974）经详尽调查和分析后为美国国家宇航局（NASA）所提供的一份专题报告[9]。

表 1-4 环境特征的地面分辨率要求

Ⅰ．巨型环境特征		森林清查	400m	森林火灾预报	50m
地　壳	10km	山区植被	200m	森林病害探测	50m
成矿带	2km	山区土地类型	200m	港湾悬浮质运动	50m
大陆架	2km	海岸带变化	100m	污染监测	50m
洋　流	5km	渔业资源管理与保护	100m	城区地质研究	50m
自然地带	2km	Ⅲ．中型环境特征		交通道路规划	50m
生长季节	2km	作物估产	50m	Ⅳ．小型环境特征	
Ⅱ．大型环境特征		作物长势	25m	污染源识别	10m
区域地理	400m	天气状况	20m	海洋化学	10m
矿产资源	100m	水土保持	50m	水污染控制	10—20m
海洋地质	100m	植物群落	50m	港湾动态	10m
石油普查	1 km	土种识别	20m	水库建设	10—50m
地热资源	1 km	洪水灾害	50m	航行设计	5m
环境质量评价	100m	径流模式	50m	港口工程	10m
土壤识别	75m	水库水面监测	50m	渔群分布与迁移	10m
土壤水分	140m	城市、工业用水	20m	城市工业发展规划	10m
土壤保护	75m	地热开发	50m	城市居住密度分析	10m
灌溉计划	100m	地球化学性质、过程	50m	城市交通密度分析	5m

表中，Ⅰ级（巨型环境特征）如大陆飘移、洋流、自然地带等，大致相当于千米级（1000—5000米）的宏观现象，多属全球级。陆地卫星的空间分辨率已嫌高了，采用气象卫星便可解决问题。Ⅱ级（大型环境特征）如资源调查、环境质量评价、土地类型等，大致相当于百米级（80—100米）范畴，多属国家级、州级。陆地卫星的空间分辨率可以保证。Ⅲ级（中型环境特征）如作物估产、土种识别、林火监测、污染监测等，一般在50米以下的区域范围内，采用陆地卫星资料加上航空象片便可进行工作，SPOT卫星图象也可进行。Ⅳ级（小型环境特征）如港湾、水库工程建设、城市发展规划等，一般在5—10米的地区范围内。陆地卫星对之已无能为力，主要靠航空象片，SPOT卫星图象也可以做一些工作。

（二）波谱分辨率

1．定义

波谱分辨率指传感器所用的波段数目、波段波长以及波段宽度。也就是选择的通道数、每个通道的波长、带宽，这三个因素决定波谱分辨率。

有关波谱的内容，在“遥感概论”以及一些遥感书籍中都有不少论述，这里就不再赘述。

2．波谱分辨率在遥感中的意义

（1）多波段光谱信息的利用大大开拓了遥感应用的领域

过去的航空象片一般采用一个综合波段（全色或彩色红外）。卫星遥感开始了多波段的利用。从综合波段记录电磁波信息，到分波段分别记录电磁波的强度，这样可以把地物波谱的微弱差异区分并记录下来，使遥感应用范围逐步扩大。以专题制图仪(TM)为例，它采用了七个波段，波长范围从0.45—12.5微米。这是分析了大量地物波谱特征后建立起来的，其中2.08—2.35微米的中红外波段是专为探测与交代岩石有关的粘土矿物等而选择的，而热红外波段则可以用来区分主要的岩石类型，以增加遥感数据在地质应用中的有效性。

对于传感器波谱分辨率的选择，有两种情况。在实验过程中，分析波谱特征时，光谱波段分得愈多愈细、频带宽度愈窄，所包含的信息量就愈大，针对性愈强，则易于鉴别细微差异，因而在实验室研究中多光谱波段往往可以发展到十几、甚至几十个波段。但是在实际应用中，便要对之进行综合归纳。因为波段分得愈细，各波段数据间的相关性就愈大，增加了信息的冗余度，未必能达到预期识别效果。同时波段愈多，数据量愈大，给数据传输、数据处理和鉴别带来困难。因而，在实际工作中，波段数的确定必须综合考虑多种因素。陆地卫星MSS仅用了4个波段，TM增加到7个波段，SPOT卫星仅采用3个波段。此外，传感器波谱分辨率的选择是与它的探测目的相对应的。也就是说，波段中心位置的选择要与地物特征光谱位置相对应。不能要求一种传感器能“包罗万象”地解决所有问题。

图1-13是美国Gary. W. North (1974) 总结的遥感仪器在环境问题上的应用矩阵[10]。表中列出了环境遥感中的不同应用范围，包括与水环境因子有关的14种、与大气环境因子有关的7种以及与陆地环境因子有关的22种，从传感器、平台、遥感监测目标这三个方面对每一种应用目的进行效果或质量评价，分别划分出A（最佳）、B（好）、C（可用）、D（尚可用）、x（不可用）以及优、良、中、可、劣五个等级，列出应用矩阵。表中可以看出评价的结果说明不同波段的传感器的应用范围是不一样的。

（2）多波段光谱信息的利用使专题研究中波谱段的选择针对性越来越强

表1-5说明不同的波谱分辨率针对不同的专题研究对象。也就是说，各种光谱波段既有它的针对性、有效性，又有它的局限性，因而人们在工作中，必须根据不同的遥感应用目的“有的放矢”地选择波谱分辨率。

表 1-5　不同遥感研究对象的有效工作波段范围

项目	波长（微米：0.3 0.5 1 5 10 13；厘米：0.3 30）	用途
矿床勘探	I* —I	岩石和矿物露头的制图
	—SM	不同类型硅酸岩的区分
	—I	盐丘露头
	I* —I* —SAR*	与隐伏矿床有关的构造标志的探测
	I* —I*	有利于探测与隐伏矿床相关的条件，土壤和岩石类型
	SM	受土壤矿物含量影响的植物的探测
	—SM	矿床产生的水汽和气体氧化物
石油勘探	I —I —SAR	与石油矿床有关的构造标志（如断层）的发现
	—SM*	与油源岩石有关的碘气的探测
农业及有关方面	I，SM —I	植物病虫害侵袭
	I，SM —I，SM*	自然植被、作物与森林普查（初勘）
	偏振 —R	土壤水分含量
	—I	林火探测
	I	合适或不合适灌溉与农业目的的土地利用研究
	I，SM	植物长势、活力和状况的估计
	I，SM	土壤类型和特征
环境监测与民用工程	I —I* —SAR*	市区和发展区的研究
	I，SM —I，SM	水生经济体系的研究
	I*SM*—R* SAR*	陆地经济体系的研究
	I —I	水污染
	I —I —SAR	油污染
	I —I —SAR	地形制图，建筑标志探测
	I —I —I —R	湿地（沼泽）和高含水量地区的划分
	I —I	河流、湖泊等制图
	—I —SM*	大气污染
海洋捕捞	I* —I —R	表面温度（洋流、涌泉）
	I	鱼的油渍
	I，SM	叶绿素的浓度含量（藻类，浮游生物）
其它	—I —I	预报火山喷发的火山区研究
	I —I —I* —R，SAR	海冰制图和研究
	I，SM	水下制图
	—I —R	雪盖（暂时或永久的）研究和制图

注：I摄影　SM光谱测量　SAR侧视雷达　R微波辐射测量（水平和垂直极化）　*建议使用

效果	
A	最佳
B	好
C	可用
D	尚可用
X	不可用

水

	1 沉积作用	2 城市用水的矛盾	3 市政污水排泄	4 藻	5 污染的地下水系	6 农业排泄	7 酸性矿水排泄	8 油膜	9 油船的冲洗	10 工业排污	造纸厂	纺织厂	化工厂	11 荧光物质	12 多种水污染物	13 热电厂排废	14 辐射
	A	B	B	A	B	B	B	B	B	B	A	B	A	B	B	D	×
	B	C	B	C	C	C	B	C	B	C	C	C	C	C	C	C	×
	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	B	A	B	×
	A	A	A	A	A	A	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	×
	B	B	B	C	B	B	B	C	B	B	C	B	C	B	B	C	×
	D	C	B	D	D	D	D	C	C	D	D	D	D	D	D	A	×
	B	A	B	C	B	B	B	A	B	B	B	B	B	B	A	B	×
	×	D	D	×	×	×	×	B	C	×	×	×	×	×	×	B	×
	×	×	×	D	×	×	×	B	D	×	×	×	×	×	×	×	×
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	×	D	×	D	×	D	D	D	D	B	×	D	×	A	×	×	×
	×	×	×	×	D	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	A
	4	2	4	3	1	1	3	4	4	3	3	3	3	1	3	4	1
	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	3
	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	5
	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	5
	2	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	5
	2	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5
遥感监测目标 (1)检测环境中的不同物质	1	2	1	1	2	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
(2)识别特殊污染物与污染物等级	2	2	3	2	4	4	2	1	4	3	3	3	3	1	3	1	1
(3)量度污染物浓度的时变率	3	5	4	3	5	5	4	2	5	4	4	4	4	1	4	2	1
(4)监测污染物的来源、运动及归宿	2	3	3	3	4	4	2	1	4	3	3	3	3	1	3	1	1
(5)考察污染物对环境的影响	5	3	2	5	4	4	2	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5
(6)由分析遥感检测的数据,考察环境质量,环境对降级的敏感性,为环境综合规划模式提供数据	1	1	1	1	2	2	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1
合计	14	16	14	15	21	21	12	10	25	16	16	16	16	9	16	10	10

大气

	1 砂暴	2 烟雾	3 火灾 草原	森林	工业	4 烟雾	5 (飞机)尾迹	6 高层大气灰尘	7 环境噪声
	B	A	B	B	B	B	B	B	×
	B	B	B	B	B	B	C	B	×
	A	A	A	A	A	A	B	A	×
	C	C	C	C	C	C	A	C	×
	B	B	B	B	B	B	C	B	×
	B	×	B	B	B	×	B	B	×
	B	C	B	B	B	D	B	B	×
	D	×	D	D	D	×	×	D	×
	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	×	C	×	×	×	B	D	×	×
	×	×	×	×	×	×	×	×	A
	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	4	4	4	4	4	2	4	4	1
	3	2	2	2	2	2	2	3	5
	4	4	3	3	3	3	4	4	5
	4	2	2	2	2	2	4	4	5
	3	2	2	2	2	3	2	2	5
	2	2	2	2	2	3	2	2	5
	2	2	2	2	2	4	2	2	1
(1)	4	1	1	1	1	2	2	4	1
(2)	4	4	1	1	1	2	4	4	1
(3)	5	4	2	2	2	2	5	5	1
(4)	4	2	2	2	2	4	4	4	4
(5)	5	4	3	3	3	4	5	5	5
(6)	4	2	4	4	4	2	4	4	3
合计	26	17	13	13	13	16	24	26	16

图 1-13 环境

		陆														地													
		1 不合理的土地利用	2 城市快车道	3 停车场	4 汽车废置场	5 车库与固体垃圾	6 为铅焰保健的场地选择	7 居民区发展	山麓	海滨	新市镇	8 重工业	9 开井采矿	10 矿区下沉	11 地下火灾	12 露天井矿	13 炉灰	14 采石场	15 烟囱沉淀物	16 植物退化	矿石冶炼	除草剂	地下天然气漏	地下汽油漏	17 土壤侵蚀	18 剩余农业废物	19 饲料	20 伐木场活动	21 灾害	22 泛滥平原的递降
遥感仪器	照相机	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	D	A	B	A	A		B	B	D	B	A	A	A	A	A	A
遥感仪器	全色	C	C	C	C	C	C		C	C	C	C	C	C	B	C	B	C	C		C	C	D	C	C	C	C	C	C	C
遥感仪器	彩色	B	B	B	B	B	B		B	B	B	B	B	B	A	B	A	B	B		B	B	C	B	B	A	B	B	B	B
遥感仪器	彩色红外	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	B	A	B	B	B	A	A	A
遥感仪器	多光谱	C	C	C	C	C	C		C	C	C	C	C	C	B	C	B	C	C		C	C	B	C	C	C	C	C	C	C
遥感仪器	红外扫描器	C	C	C	D	C	D		C	C	C	B	C	D	A	C	A	C	B		C	C	B	B	D	D	B	C	C	D
遥感仪器	多光谱扫描器	C	C	C	D	C	D		C	C	C	B	C	D	A	C	A	C	B		B	B	B	B	D	C	B	B	C	C
遥感仪器	微波辐射计	D	×	×	×	D	×		×	×	×	×	×	D	D	×	B	×	D		×	×	D	D	×	×	×	×	×	×
遥感仪器	侧视雷达	C	C	C	C	D	C		C	C	C	C	B	D	×	B	D	B	×		D	D	×	×	D	×	×	B	C	D
遥感仪器	相关光谱计	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	D	×	D	×	×		×	×	D	×	×	×	×	×	×	×
遥感仪器	分贝记录器	×	D	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
遥感仪器	夫宰因线鉴别器	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
遥感仪器	闪烁传感器	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
遥感平台	地面仪器	3	3	3	2	3	3		3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	1		1	1	1	1	3	3	3	4	3	2
遥感平台	飞机	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	5		2	2	2	2	1	1	1	1	1	2
遥感平台	甚低 0—2000m	2	2	2	1	2	1		2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	5		1	1	1	1	2	2	2	3	2	1
遥感平台	低 2000—20000m	1	1	1	2	1	1		1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	5		2	2	2	2	1	1	1	1	1	2
遥感平台	中 20000—50000m	2	2	2	3	2	2		2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	5		3	3	3	3	2	2	2	2	2	3
遥感平台	高 >50000m	3	3	3	4	3	3		2	2	2	2	2	4	4	3	4	3	5		4	4	4	4	3	3	3	2	3	4
遥感平台	航天飞机	2	3	4	5	5	3		3	3	3	3	2	5	5	4	5	4	5		5	5	5	5	4	4	4	3	4	5
		1	1	1	2	2	1		1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	1		1	1	4	3	2	4	2	1	1	3
		2	1	1	2	4	1		1	1	1	2	3	5	4	1	1	4	5		2	2	5	3	2	5	2	1	2	4
		2	1	1	3	3	2		1	1	1	2	2	4	4	2	2	3	5		2	2	5	5	2	4	4	1	2	4
		2	1	5	4	4	2		2	2	2	3	3	4	4	2	2	3	5		2	2	4	4	2	4	4	2	4	4
		4	4	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	4	2	3	3	5		1	1	5	3	2	5	4	2	2	3
		1	1	1	2	2	1		1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	4		1	1	4	4	2	4	2	1	1	3
		12	9	12	16	18	10		9	9	9	12	13	24	24	9	10	15	25		9	9	27	22	12	26	18	8	12	21

质量	
1	优
2	良
3	中
4	可
5	劣

问题—遥感方法

以植物遥感波谱分辨率的选择为例，从0.4—2.5微米划分了植物的8个有效（可选）波段*。

① 0.45—0.50（或0.44—0.51）微米，色素吸收波段。即在叶红素及叶绿素吸收区之内。其特性与红波段相似。

② 0.52—0.59（或0.51—0.60）微米，绿色反射波段。对区分不同林型及树种可能提供较多信息。有人认为绿波段与红波段比值可以提供作物生长的有用信息。

③ 0.63—0.69（或0.62—0.69）微米，对区分有无植被、覆盖度及植物健康状况极为敏感。有人认为当用（0.74—0.91/0.63—0.69）作比值分析时效果最好。

④ 0.70—0.74微米，是个过渡波段。仅能增加噪声，不宜包括在其它波段中，TM、SPOT均避开了这段。但它也有其特殊功能，如受金属毒害的植物在此波段范围内（即可见光与近红外吸收边外），其反射率表现最明显，大约有10纳米的蓝移（图1-9，1-10），而高粱等作物在成熟期有大约10纳米的红移。

⑤ 0.74—0.90微米，是绿色植物（活的）的各种变量与反射率关系最敏感的波段，为植物通用波段。其中0.74—0.80微米与背景土壤形成明显对比，对区分不同覆盖度作物长势最好。但作为植物通用波段取0.74—0.90微米为宜。为了避开0.74及0.92—0.98微米的氧和水的吸收，可以选择0.76—0.90微米。

⑥1.1—1.3微米，在高反射区与水吸收区之间，能区分植物类别，对岩石可能也有用。

⑦1.55—1.75微米，⑧2.1—2.3微米，均是位于几个水吸收带之间的反射峰。有人认为对土壤及绿色植物有很强的对比。

由此可见，反束光导管摄象仪（RBV）的三个波段（0.475—0.575，0.58—0.68，0.69—0.80微米）以及多波段扫描仪（MSS）的四个波段（0.5—0.6，0.6—0.7，0.7—0.8，0.8—1.1微米）对于植物遥感均不理想。而Landsat-4的专题制图仪（TM）以及法国SPOT卫星在波段选择上均作了很大改进。TM包括了上述0.4—2.5微米中8个可选波段中的6个；而SPOT只选了可见光及近红外的最有效波段。它们比MSS有了根本的改善，将促进植物遥感的发展。

国内外在这方面做了大量的研究工作。如美国密执安环境研究所（ERIM）W.A.Malila等人研究陆地卫星数据光谱特征与农林判读的关系，美国斯坦福大学列昂根据光谱特征来识别铁矿，法国国家空间研究中心G.Saint等人用植物光谱特征研究植物的生态现象，英国里定大学P.Curran等人研究地物光谱与生物量（biomass）、生产率（Productivity）的定量关系，西班牙国家地理所A. M. Arogon等人用光谱特征来鉴别岩石，澳大利亚的M.J.Duggin等人作了地物波谱特征与人机联作计算机自动分类的研究等等。

（3）在图象处理中多波段光谱信息的利用可以提高分析判读效果

采用分波段来记录地物波谱特征，是分别记录地物在不同波段内反射光量的强弱程度。而某一地物的特征波段，则是这一地物与它周围因子间反射光量具有明显差异，最易识别该地物的波段。它可以通过图象处理来提高判读效果。

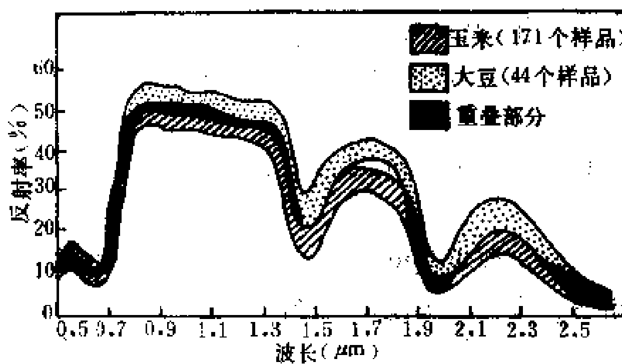
---

* 张玉贵，收集植被光谱反射数据的回顾与展望，1982年。

对于复杂的目标进行分离抽取或判读时，往往不仅要利用其特征波段内的差异，而且还要利用各波段间的差异。也就是说还要通过各波段相互间的比较来突出所需的目标。这就需要把各波段的反射光量进行合成、分解或加减乘除运算以及其它增强处理来突出并提取所需的特征信息。这里包括影象方法与数字方法或者是两者结合。

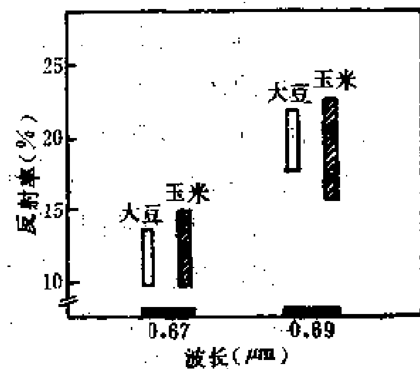
对分波段记录的反射电磁波进行统计分析，是特征提取的又一种重要方法。多波段记录的遥感图象可以构成一个多维空间。多波段的数字图象处理就是进行多维空间分析。空间的维数，即是采用的波段数。每个波段相当于一维。图象中的每个点（象元）都对应于多维空间中的一个点（向量），相同类型的地面对象则形成空间中的点集，不同类型的地物构成空间上不同的点集。遥感图象分类、模式识别的实质就是选择有效的判别函数来区分这些不同的点集。也就是把不同类型的目标区别开来。

图 1-14（a）是玉米和大豆叶子反射率的实验室测量结果。从图中可以看出，利用 1.7微米区间的光谱数据，可以把两者区分开来。分类时反射率大于某值的点当作大豆，小于该值的作为玉米。根据这种原理进行识别分类通常称为“密度分割”。但在0.7微米区间附近，两者光谱重叠最大，无法区分。(b) 是玉米和大豆在两个光谱波段内



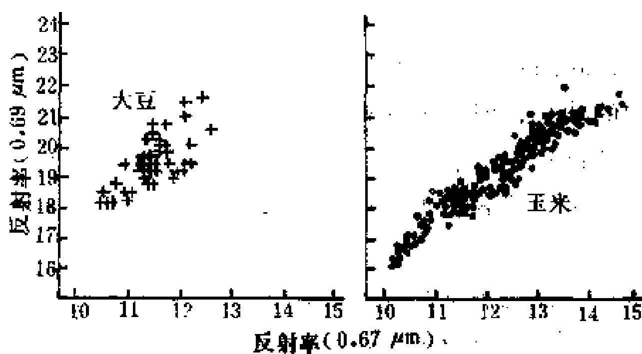
(a)

玉米和大豆叶子反射率的实验室测量结果



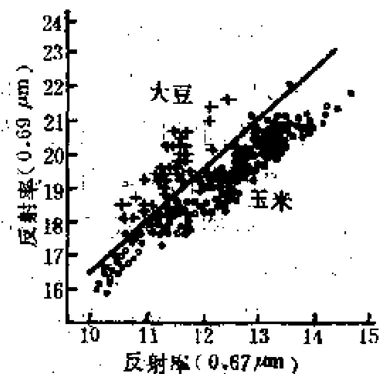
(b)

玉米和大豆在两个光谱波段内的数据分布



(c)

两个光谱波段内数据的正交图



(d)

玉米和大豆正交图的的叠合

图1-14 多光谱数据的处理与分析

(0.67 微米，0.69 微米)的数据分布。两种作物在这个区间内重叠很大，若将这个数据以相应波段的影象显示出来，则必然十分相似难以区分。但如果利用两波段的信息来进行分析，尽管这两类作物在每个单波段内重叠都很厉害，仍可以有效地区分出来。(c)是把这两种作物的数据各自绘制在多变量空间中，便能观察到两者的实际分布情况。如果将这两组数据绘制在同一坐标系统中，如 (d)，这样经过多变量方法处理后，原有的微小差异得到部分增强，则可以清楚看到只要用线性判别函数，就可以将这两类作物基本区分开。后种方法是把数据表示在多变量空间内，能反映这两个光谱波段数据间的相互关系，而能区分；前种方法则是把数据表示在多个单变量空间中，无法表示光谱波段间的这种内在关系，也就无法区分。这就是根据它们的多波段光谱特征，进行统计分类的结果。这样看来，以分波段记录方式获得的多光谱图象或数据是进行图象处理、定量影象分析的前提和标准。

（三）时间分辨率

1. 定义

时间分辨率指对同一地区遥感影象重复覆盖的频率。时间分辨率有不同的数量级。它的变化范围从静止气象卫星的半小时/次，到陆地观测卫星几天或几周/次，到航空摄影或空间飞行人工摄影几个月，甚至几年/次。遥感资料的时间分辨率差异很大。

2. 时间分辨率的类型

根据探测周期的长短可将时间分辨率划分为三种类型。

(1) 超短、短周期时间分辨率

指一天以内的变化，以小时为单位。目前主要指气象卫星所获得的信息，用来探测大气海洋物理现象、火山爆发、植物病虫害、森林火灾以及污染源监测等。

(2) 中周期时间分辨率

指一年之内的变化，以“旬”或“日”为单位。目前主要指陆地卫星信息，用以探测植物的季相节律、再生资源调查（农作物、森林、水资源等)、旱涝、气候学、大气动力学、海洋动力学分析等。

(3) 长周期时间分辨率

指以年为单位的变化。主要指较长时间间隔的各种类型的遥感资料。通过时间序列的对比来反映不同时间的轨迹。如湖泊的消长、河道的迁徙、海岸进退、城市扩展、灾情调查、资源的变化等。当然，若研究几百年、几千年的自然历史变迁，则是研究遥感影象上留下的痕迹，寻找其与周围环境因子的差异，那就是另一回事了。它需要参照历史、考古以及其它信息方能完成。

一方面，遥感对象的变化规律要求遥感探测周期与之对应；另一方面，对遥感本身来说，由于传感器选择波段有限制，而不同的波段又有不同的时间要求，也就是要有一定的工作条件。如侧视雷达是全天候的；热红外摄影或扫描只有在清晨 2—3 点以及白天午间地温场最高时为宜，多波段则必须晴空，因而需要专门研究全球天气。这个研究课题是由瑞典皇家工程学院承担了 15 年之久。他们把全世界天气状况用气象云图接收，按 40

英里的格网覆盖全球。每 2 小时向美国宇航局发布预告，以便控制陆地卫星有云不开机。我国发射国土卫星，由于飞行时间仅有几天，所以必须掌握住天气情况，即是否有云，并要求具体到上午 9—10 时是否有云。这就要在遥感仪器的特定条件下，捕获到遥感对象的变化规律，选择最佳摄影时间。这并非一件容易的事。可见，时间分辨率是选择最佳摄影时间的决定因素。

3. 时间分辨率在遥感中的意义

(1) 进行动态监测与预报

遥感应用从资源清查、定性描述的静态阶段到动态分析、预报并直接参与生产管理，必须解决时间分辨率的问题。如利用短周期遥感信息——气象卫星云图进行天气、海况（海洋表面物理状况、温度场、风场、波浪）、渔情监测与预报，我国约每半个月 1 次，而日本则每天 2 次，并能及时送到出海的船上由电视屏幕显示出来，由于及时掌握情报，使日本的产渔量约是我国的 10 倍。英国利用气象卫星与气象雷达相结合，进行台风或暴雨形成与晴空湍流的监测预报，时间分辨率的要求（重复监测周期）达几十分钟到1小时。他们用雷达确定云的移动速度、水滴大小、云顶高度等参数，从而推测这个云团可输送多少水量，用气象卫星作整个天气形势分析，来预报 2 小时内的天气变化。英国还用此方法来控制整个威尔士山区水库的闸门。此外，根据火山的地热场在热容量卫星和红外波段上的反映来预报夏威夷火山的爆发，也是短周期遥感信息利用的较成功的例子。

过去因受到遥感资料的限制，较难得到研究区域内不同年份、不同季节的多时相资料，因而许多动态方面的工作难以进行，一些动态研究课题仅停留在试验性及方法性的探讨上。随着我国地面站的交付使用，遥感信息源不断增加，周期性遥感图象和数据资料不断积累，动态研究也就越来越成为可能。当然这方面的研究还不仅是个多时相的问题，它需要多因子的综合分析，需要其它资料的支持。

(2) 进行自然历史变迁和动力学分析，必须有时间分辨率作为保证

湖北江汉平原上，河流交叉纵横，湖泊星罗密布，是我国水网密度最大的省份之一。这里古代发育了大湖“云梦泽”，曾经有 2000 多个湖泊。解放前夕的地图上还保留有 609 个湖。但现在通过卫星图象的核实仅留下 300 多个，并且湖廓界线也发生了变化。原来的小湖丧失殆尽，中等湖泊也有部分不复存在，既使洪湖、大同湖这样的大湖也被肢解破碎。平原上湖泊的明显消长变化直接影响到区域水系网络、农田灌溉、生态环境、水生资源等。这些变化需要动态信息（较长间隔，不同时相的卫星图象、航空象片等）及时更新。运用遥感和历史资料的结合是可以完成的。

北京城市的发展从长周期时间分辨率的陆地卫星影象上可以提供不少的信息。约距今 3000 年前北京最早的城址——蓟城，在今天城区的西南角。从卫星影象上可以看到古城的东南部淀泊沼泽的残迹和永定河游移不定的故道，北部山区沿北东、北西走向断层形成的山口（南口及古北口等），以及燕山、太行山冲洪积扇带。古城就位于永定河古冲积扇前缘潜水溢出带内，又是古代渡口附近的交通枢纽点。这儿水源丰富、交通发达，因而发展了古城蓟城。随着城市的发展、水源条件的变化，北京古城也几经迁移、几度

兴衰。结合考古历史资料，我们不仅可以从影象上识别历史上的古城内城、外城街区及护城河的轮廓，而且可以看到解放后对老城的改造、新城的扩建、城镇的并联、郊区农业的园田化，以及兴建官厅、密云、怀柔水库后对北京及环境背景的影响。

(3) 利用时间差提高遥感的成象率和解象率

由于不同时相的遥感图象土壤的光谱特征变化很大，所以在我们进行土地资源和土壤资源调查中，必须选择差异特征明显的时期。对于华北平原地区则应该抓住两个特征时期，一是冬春时节（一般在3月中上旬），气候干旱、地面返盐，且地面覆盖差、多呈裸露状，地表水盐动态变化特征和差异以及地貌等现象均反映明显；二是春末或秋末时节(一般5月上旬或9月上旬)，即作物成熟期，水盐土条件的差异集中反映在作物的类别与长势上。利用这两个时间差进行对比，可以得到任何一个单时相所得不到的信息，有效地提高了图象解译能力。研究内蒙草场流域下垫面问题，即要了解对径流起滞蓄作用的草地盖度、森林郁闭度等（应选用7、8月份的影象），又要了解枯水期的河流状况（应以10—4月的影象作参考），两者对比分析，提高解译精度。可见，合理利用光谱响应的时间效应，选择合适时相的遥感图象进行对比，将有助于分析和识别地物。

(4) 更新数据库以达到动态监测的目的

动态多时相的遥感数据，是数据库的重要信息源。由于它具有周期短的特点，尤其适于不断更新数据库。

遥感信息具体应用的目的与尺度，是图象分析人员根据研究对象的地学属性与遥感信息的物理属性，选择适当的遥感图象资料和确定分析方法的准则。研究宏观现象，如研究气象学、海洋学的问题，是把整个地球作为一个动力系统来考虑的。它需要大范围、低空间分辨率的遥感资料，即宇宙飞行器、气象卫星资料等。研究“微观”现象则相反，如通过岩石节理的统计分析，来研究控矿构造寻找矿源，则需要小范围、空间分辨率高的遥感资料，即航空象片等。宏观与微观的矛盾，反映在具体问题、具体任务上，就是概查与详查的问题；反映在制图上，则是小比例尺制图与大比例尺量测的问题；反映在服务对象上，则是供主管部门或领导部门决策还是供应用部门解决工程措施，前者是研究规律，后者是具体计量，即规律与计量的问题；反映在思维方法上，是个归纳与分析的问题。在进行遥感信息地学评价时，对以上的这些矛盾双方必须作出选择。严格地说，它们是不能兼顾的。

表1-6[4]表示在水污染遥感监测中，对于不同污染源，所采取的遥感手段不同。表中可见，根据不同应用目的，从不同的尺度出发，考虑到不同研究对象本身的地学属性，去选择不同的空间分辨率、不同波谱分辨率、不同时间分辨率的遥感信息，只有探测目的与探测要求相互对应，方能达到最佳的应用效果。表中也说明了进行遥感的定时、重复观测是进行动态监测和研究的前提。

对于一个遥感系统来说，它的最大信息容量，除了取决于空间、波谱、时间这三个分辨率外，还与它的辐射分辨率有关。所谓辐射分辨率指传感器对于光谱信号强度差异的敏感程度。它是图象可以表达的灰度差异，一般用灰度数来表示。也就是说，灰度值

表 1-6 遥感水污染所必需的测定条件

测定项目 / 水污染源	地面分辨率 (m)	光谱分辨率 (μm)	波长范围 (nm)	摄影周期	太阳高度	视场角 (离铅直方向的角度)	摄影范围 (km×km)
石油	10—30* (300)	—	紫外、可见、微波	2—4小时 (1 天)	注意光晕	注意光晕	200×200 (20×20)
悬浮泥砂	20 (500)	0.15 (0.15)	350—800 (400—700)	2 小时 (1 天)	45° (30°—60°)	0°—+15° (−5°—+30°)	350×100 (10×10)
化学废物	10 (200)	0.15 (0.15)	350—700 (400—700)	5 小时 (10 天)	45° (30°—60°)	0°—+15° (−5°—+30°)	35×35 (10×10)
固体废物	10 (200)	0.15 (0.15)	350—800 (400—700)	5 小时 (10 天)	45° (30°—60°)	0°—+15° (−5°—+30°)	35×35 (10×10)
热排水	30 (500)	±0.2℃ (±1℃)	10—12μm (10—14μm)	2 小时 (10 天)	—	—	35×35 (10×10)
放射性废物	30 (500)	—	伽玛射线	5 小时 (15 天)	—	0° (0°)	35×35 (10×10)
富营养物	100 (2km)	0.05 (0.15)	400—700 (400—700)	2 天 (14天)	45° (30°—60°)	0°—+15° (0°—+30°)	350×350 (35×35)
微生物	—	0.1 (0.1)	400—700 (400—700)	3 个月 (1 年)	—	—	350×350 (10×10)
红潮	30 (2km)	0.015 (0.015)	400—700 (400—700)	5 小时 (2 天)	45° (30°—60°)	0°—+15° (−5°—+30°)	350×350 (20×100)
人类活动	10 (100)	—	紫外、可见、微波	1 年 (5 年)	—	—	350×350 (35×35)

* 表内数字是指理想值，括弧内的数字是最低限度允许值。

分级的数目取决于传感器的辐射分辨率。

假设图象上象元取各灰度值的概率相等，则可得到一个波段遥感图象的最大信息容量（I_m）。它不仅与空间分辨率（用象元数 n 表示）有关，而且与辐射分辨率（用灰度数 m 表示）有关。对于一幅图象而言，每个象元所能取的灰度值是 m 个灰度值中的一种，图幅中不同象元取的灰度值变化很大。对每个象元来说所能包含的最大信息量是 $\log_2 m$，一幅单波段图象内有 n 个象元，则它所包含的最大信息量为

$$I_m = n \cdot \log_2 m \quad \text{(bit)}$$

遥感系统的光谱分辨率是指它探测电磁波谱的宽度，由频道数K来表示。每个波段可以包含的最大信息量为 I_m，一个遥感系统可以有K个波段（理解为光谱分辨率）。这

个遥感系统所能容纳的最大信息量 (I_S) 为：

$$I_S = K \cdot I_m = K \cdot n \cdot \log_2 m = K \cdot \frac{C}{G^2} \cdot \log_2 m \qquad \text{(bit)}$$

式中 C 是图象所对应的地面面积，G为图象的地面分辨率。

可见，遥感系统的最大信息能力 (I_s) 取决于它的空间分辨率、辐射分辨率、光谱分辨率三方面的特征。另外，对同一地区要重复覆盖，多次采集数据，故还要考虑时间分辨率。

由此看来，对于一个遥感系统均有它一定的信息容量。它的最大信息容量与其空间分辨率、波谱分辨率、时间分辨率、辐射分辨率有关。在进行具体地学分析时，它是通过研究对象的三个地学属性（空间分布、波谱反射和辐射特征、时相变化）来体现它对遥感信息的具体要求。而这种要求必须与遥感系统的信息能力，即可能性一致起来达到统一。这就是说，遥感不是万能的。我们所做的工作必须根据条件，根据任务来决定和选择相应的遥感资料，超越这种条件就不行。这是遥感地学分析中最基本和最重要的前提条件。

参 考 文 献

〔1〕R.G.Reeves, Manual of Remote Sensing, American Society of Photogrammetry, 1975

〔2〕P. H. Swain, S. M. Davis, Remote Sensing: The Quantitative Approach, McGraw hill International Book ComPany, 1978

〔3〕卡农公司图象研究室：遥感——遥感技术的发展及其应用研究，科学出版社，1983 年

〔4〕日本遥感研究会：遥感原理概要，科学出版社，1981 年

〔5〕陈述彭：卫星遥感的地学分析与论证，《地理科学》，第 1 卷，第 2 期，1981年

〔6〕陈述彭：我国遥感信息的开发与应用，《中国科学院院刊》，第 3 卷，第 1 期，1988年

〔7〕周心铁：遥感专题制图的信息单元特征和专题信息的数量化分析，区域地理信息分析方法与应用，科学出版社，1990 年

〔8〕D. E. Escobar, Reflectance in the Visible and Near-Infrared Regionto Detect Redblush Grapefruit, *Remote Sensing of Earth Resoures, Vol.* V, 1980

〔9〕L. Krawitz et al., Earth Resources Program Scope and Information Needs, *NASA. CR.* 141767, *NOV.*, 1974

〔10〕G. W. North, Remote Sensing of Environmental Pollution *Proceeding of The 9th International Symposium on Remote Sensing of Environment*

Vol. Ⅱ, 1974
〔11〕陈述彭：遥感——现代科学技术简介，科学出版社，1978年
〔12〕陈述彭：开发遥感动态信息为建设决策服务，《遥感信息》，第1期，1986年

第二节 陆地卫星系列的地学评价

空间技术的发展为遥感探测地球奠定了技术基础。从1958年以来，美国国家宇航局(NASA)发射的“水星”、“双子星座”(Gemini)等宇宙飞船以及“阿波罗”(Apollo)载人飞船，苏联发射的“联盟”(Soyuz)系列宇宙飞船，拍摄了大批地表照片，提供了从宇宙空间探测、分析、研究地球资源的可能性。通过对这些图象的分析研究，认为从宇宙空间观测地球资源信息，不论在科学上或经济上都很有价值。此后，航天遥感的对象从宇宙空间逐渐转为研究人们赖以生存的地球环境，直接为人类造福。

陆地卫星系列计划，即“地球资源卫星”计划经过多年酝酿，在美国内务部和国家宇航局的共同组织下终于诞生。

继美国成功发射第一颗陆地卫星之后，苏联、法国、印度等国也发射了陆地卫星。但到目前为止只有美国的陆地卫星和法国的斯波特(SPOT)卫星提供给各国使用。

陆地卫星在重复成象的基础上，产生世界范围的图象。这对地球科学的发展是个很大的推动。同时，陆地卫星提供了数字化形式的多谱段图象数据资料，促进了数字化图象处理技术的发展，扩大了陆地卫星的应用广度和深度，更推动了陆地卫星系列的发展。

一、陆地卫星——Landsat

有关陆地卫星的详细情况在许多书中均有介绍。此处仅作扼要说明，以便更好地了解它的发展以及可以提供的资料，为地学分析服务。

（一）概况

“地球资源卫星”计划，从1972年7月23日第一颗地球资源卫星(1975年后改为陆地卫星)发射以来，陆地卫星已发射了五颗Landsat 1运转6年，Landsat 2，3分别运转8年和5年，三颗卫星共为地球提供40万幅相片，陆地几乎全部覆盖。目前，Landsat 1—4已相继失效，Landsat 5仍在运转。

陆地卫星由“雨云”气象卫星改装而成，呈蝴蝶形。其能源是由太阳能电池帆板将日光转为电能。

陆地卫星的轨道为与太阳同步的近极地圆形轨道。这样可以保证北半球中纬度地区获得中等太阳高度角(25°—30°)的上午成象，而且卫星通过某一地点的地方时相同，以利于图象对比。如Landsat 4，5穿过赤道的地方时为9点30分或9点45分。轨道高度Landsat 1、2、3为918公里，Landsat 4、5为705公里。由于地球自转使卫星轨道每天向西偏移(每圈偏移0.0706度，每天偏0.9856度)，每18天(Landsat 4、5为每16天)覆盖地球一次(除纬度81°以上的极区)。每18天向西移动2400公里，且在扫

描一幅图象的28秒内形成平行四边形图象，图象的地面覆盖范围为185公里×185公里。相邻陆地卫星图象的前向重叠为10%，旁向重叠由赤道向两极逐渐增大，赤道处为14%，纬度40°处为34%，极圈为71%，纬度80°处为85%。

（二）传感器及信息特征

1．多光谱扫描仪——MSS（Multi-Spetral、Scanner）

MSS为一种具有4个光谱通道的光学-机械扫描仪。Landsat 1—5均用了MSS，其中除Landsat 3采用5个波段外，其余均用可见光—近红外4个波段。

（1）MSS 4：0.5—0.6微米，为蓝绿波段

对蓝、绿、黄色景物一般呈浅色调，随着红色成分的增加而变暗色。水体色调最浅。对水体有一定的透射能力，可测一定水深（约10—20米内）的水下地形，并对识别水体浑浊度、沿岸流、砂地、砂洲等有利。

（2）MSS 5：0.6—0.7微米，为橙红波段

橙、红景物一般呈浅色调，随着绿色成分的增加而变暗色。对水体也有一定的穿透力（约2米），水中泥沙流反映明显。对裸露的地表、植被、土壤、岩性地层、地貌现象等可供较丰富的信息。为可见光最佳波段。

（3）MSS 6：0.7—0.8微米，为红、近红外波段

（4）MSS 7：0.8—1.1微米，为近红外波段

6、7波段相关性较大，植被为浅色调，水体为深色调。尤以M7水陆界线清晰，对土壤含水量反映明显，对寻找地下水以及识别与水有关的地质构造、隐伏构造、作物病虫害、军事伪装、土壤岩石类型等有利。

扫描宽度185公里，地面分辨率为80米。扫描镜每振动一次，有6根扫描线同时覆盖4个光谱带，约扫地面宽474米。扫描一幅图象约需390次，则沿轨道方向的扫描宽度为185公里(390次×474米/次)，包含有2340行扫描线（390次×6行/次），每行扫描线为3240个象元，则MSS图象一景的总数据量约为30兆字节（3240象元×2340行×4个波段）。MSS的辐射分辨率分别为64（M7），128（M4—6）个量级。该仪器有一校准系统，可以为各光谱段的景象同时提供一个15级的灰度表，对图象分析很有好处。

Landsat 3的MSS有5个通道，所增加的第5通道为热红外波段（10.4—12.6微米），空间分辨率为240米。但由于记录仪出故障，工作不久便失效。Landsat4、5删去了这个热红外波段。

2．反束光导管摄象仪（又称高分辨率摄象仪）——RBV(Return Beam Vidicon)

Landsat 1、2的RBV由3台同类型的电视摄象机组成。有3个波段（波长分别为0.475—0.575，0.58—0.68，0.69—0.83微米），地面分辨率为80米。由于发生技术故障，RBV仅获得很少资料。Landsat 3的RBV作了一些改进，采用2台摄象机，可提供分辨率40米的全色（黑/白)图象。Landsat 4、5未用RBV。

3．专题制图仪——TM（Thematic Mapper）

TM 是一种改进型的多光谱扫描仪。其空间、光谱、辐射性能比 MSS 均有明显提高，使数据质量与信息量大大增加。TM 图象一景的总数据量为 230 兆字节。

TM 有 7 个较窄的、更适宜的光谱段。它们的特征分别说明如下：

TM 1，0.45—0.52 微米，蓝波段。对水体穿透力强，对叶绿素与叶色素浓度反映敏感，有助于判别水深、水中叶绿素分布、沿岸水和进行近海水域制图等。

TM 2，0.52—0.60 微米，绿波段，与 MSS4 相关性大。对健康茂盛植物绿反射敏感，对水的穿透力较强。用于探测健康植物绿色反射率，按"绿峰"反射评价植物生活力，区分林型、树种和反映水下特征等。

TM3，0.63—0.69 微米，红波段，与 MSS5 相关性大。为叶绿素的主要吸收波段。反映不同植物的叶绿素吸收、植物健康状况，用于区分植物种类与植物覆盖度。其信息量大，为可见光最佳波段。广泛用于地貌、岩性、土壤、植被、水中泥沙流等方面。

TM2、3 波段较MSS4.5波段范围窄，主要是为了提高对植物光谱变化检测的灵敏度。

TM4，0.76—0.90 微米，近红外波段，与 MSS6、7 相关性大。对绿色植物类别差异最敏感（受植物细胞结构控制），为植物通用波段。用于生物量调查、作物长势测定、水域判别等。

TM 5，1.55—1.75 微米，中红外波段。处于水的吸收带（1.4—1.9 微米）内，反映含水量敏感，用于土壤湿度、植物含水量调查、水分状况的研究，作物长势分析等，从而提高了区分不同作物类型的能力。易于区分云与雪。

TM 6，10.4—12.5 微米，热红外波段。可以根据辐射响应的差别，区分农、林覆盖类型，辨别表面湿度、水体、岩石，以及监测与人类活动有关的热特征，进行热制图。

TM 7，2.08—2.35 微米，中红外波段。此为地质学家追加的波段。处于水的强吸收带，水体呈黑色。可用于区分主要岩石类型、岩石的水热蚀变，探测与交代岩石有关的粘土矿物等。

由于TM信息的光谱分辨率较高，频道增加、波带变窄，针对性较强，因而可以根据不同应用目的，进行多种组合处理和专题提取，大大扩大了它在生物学、地质学等方面的应用。

TM信息的空间分辨率在可见光、近红外、中红外波段为 30 米，在热红外波段为 120 米。

TM的扫描镜可在往返两个方向进行扫描和获取数据（MSS只能单方向扫描），这样可以降低扫描速率，缩短停顿时间，以提高辐射测量精度，所以TM 的辐射分辨率从MSS的64、128 个量级提高到 256 个量级。此外，TM 改进了姿态控制系统，且探测器直接处于焦平面上，使平台稳定性和系统的光学效率均得以改善，使TM 信息的平面位置几何精度高，更利于图象配准与制图，经精处理后的位置精度为 0.4—0.5 个象元，我国地面站也可达到 0.8 个象元（平原地区），因而用于编制 1：10万，甚至 1:5 万的专题图。

Landsat4、5 配备了 TM，标志着陆地卫星从实验型的第一代进入了实用-半实用型的第二代。

综上所述，陆地卫星资料具有以下特征：

(1) 宏观性　覆盖范围大，视野广，可获得准同步、全球性的系统覆盖，为宏观研究各种自然现象和规律提供有利条件。

(2) 周期性　重复覆盖，提供不同季节、不同照度条件的图象，可满足动态监测与预报分析的需要。

(3) 数量化　对地物的波谱反射、辐射特征，是以影象或数字形式瞬时记录下来。可以得到适于计算机处理的数字格式的图象，便于图象的数字化处理，便于定量分析。

(4) 低—中等太阳高度角 (25°—30°) 使图象上产生明暗效应，从而增强了对地质、地貌现象的研究，利于地学分析。

(5) 几何畸变小 (与航空象片相比) 可将图象直接放大，以便进行判读解译。TM图象可放大用于编制地图和专题图。

当然陆地卫星系列也有它一定的局限性，其空间、光谱、时间分辨率均有一定限制，且缺乏立体覆盖，均受不同程度的影象畸变，数据的及时利用率较差，用户所得的卫星数据不连续……。但是，随着遥感信息质量的不断提高，陆地卫星系统的应用能力将得到进一步开拓。

(三) 陆地卫星的产品

陆地卫星通过天线接收地面指令并向地面接收站传输数据。卫星上有个数据收集 (DCS) 的非成象系统，把地面资料 (来自地面遥感遥测数据收集站网——DCP)通过卫星数据收集系统 (DCS) 转送给地面接收站。同时，卫星上的传感器获取的多波段图象和数据，通过视频信号传送到地面接收站。

Landsat 4、5 的数据传输利用了实时传输系统。它是由一系列通讯卫星，其中包括TDRS (Via Tracking and Data Relay Satellies) 跟踪和数据中继卫星系统及DOMSAT通信卫星系统，近实时地收集TM和 MSS 的全部数据。这样便可以省去星载磁带记录器——这是卫星上最易出故障的部件之一。整个系统实施后，从陆地卫星传感器获取的原始数据传输到戈达德宇航中心 (GSFC) 的数据处理系统，时间不超过8小时，缩短了数据传输时间。但是由于TM数据是以高频率传输 (X波段代替了S波段)，因而需要对原有的地面接收站进行改进和扩充，方能及时得到TM数据。

地面站接收和记录的原始数据，经 GSFC 的数据处理系统 (NDPE) 转换为用户所能利用的图象或数据。一般处理过程分两步，同时提供相应的两种产品。

1. 粗加工产品

粗加工处理指对地球自转、曲率，卫星运行中的飞行高度和姿态，遥感仪器的内部性能，地表状况、地形阴影等所引起的系统几何误差进行纠正。并加入辐射测量数据和影象注记数据，进行辐射预处理 (包括对影象的色调浓淡、色彩或电信号和数字数据进行校准、订正和增强)。

粗加工产品，MSS 有70毫米正负片(比例尺1:336.9万)，经拷贝放大的 241 毫米黑/白、彩色正片和象片 (比例尺 1:100 万)，图象一般以分幅、分波段形式提供用户。

还有粗加工的计算机兼容磁带(CCT)。TM有未经几何校正的241毫米正负胶片及图象，有全景（1:100万）和子景（1:50万）两种格式，TM数字图象产品（CCT），其中有未经任何校正处理的初级产品和经辐射校正的产品。粗加工产品可以进行目视解译和定性分析。

2. 精加工产品

精加工处理主要指进行空间和辐射测量校正，即利用地面控制点测量来消除几何畸变，进行影象精确定位、调整数据比例尺，进行UTM投影变换以及进行辐射测量校正，包括去条带以及量化等级的扩展（MSS从64级提高到128级）。

经精加工处理的产品，MSS包括241毫米的单张分幅分波段胶片（1:100万）和计算机兼容磁带，满框影象分割为8个条带，每个条带又分为8个块，每块包括512条扫描线。TM包括经几何校正的241毫米正负胶片及图象，有全景(1:100万)和子景（1:50万)两种格式，TM数字图象产品为CCT（经辐射校正和几何校正并经重新采样产品)。精加工产品精度高，可用于制图，进行不同波段图象数据的匹配以及信息复合处理，利于进行综合定量分析。

（四）我国遥感卫星地面站

目前，在世界范围内已经建立和正在筹建的地面接收站有25个(表1-7、图1-15)。

表1-7 陆地卫星地面接收站分布

国别	经营单位	编号	地面站位置	使用年份
美国 (U.S.A.)	美国宇航局 (NASA)	①	费尔班克斯 (Fairbanks)	1972
		②	戈尔德斯通 (Goldstone)	1972
		③	格林贝尔特 (Greenbelt)	1972
加拿大 (Canada)	国家遥感中心 (CCRS)	④*	艾伯特王子城 (Prince Albert)	1972
		⑤	舒科夫 (Shoe Cove)	1976
巴西 (Brazil)	空间研究所	⑥*	库亚巴 (Cuiabà)	1974
阿根廷 (Argentina)	空间研究委员会	⑦	奇基塔 (Mar Chiguita)	1980
瑞典 (Sweden)	空间公司	⑧*	基律纳 (Kiruna)	1978
意大利 (Italy)	空间电信公司	⑨	福奇内 (Fucino)	1975
西班牙 (Spain)		⑩	马斯帕洛马斯 (Maspalomas)	

国别	经营单位	编号	地面站位置	使用年份
法国 (France)	国家空间研究中心 (CNES)	⑪*	图卢兹 (Toulouse)	1983
扎伊尔 (Zaire)		⑫	金沙萨 (Kinshasa)	
南非 (South Africa)		⑬	比勒陀利亚 (Pretoria)	
上沃尔特 (Upper Volta)		⑭*	瓦加杜古 (Ouagadougou)	
日本 (Japan)	国家空间发展局 (NASDA)	⑮	东京 (Tokyo)	1979
印度 (India)	国家遥感局 (NRSA)	⑯*	海德拉巴 (Hydearbad)	1979
泰国 (Thailand)	国家科学研究委员会	⑰	曼谷 (Bangkok)	1982
中国 (China)	国家遥感中心 (NRSC)	⑱*	北京 (Beijing)	1986
孟加拉 (Bangladesh)	空间研究和遥感组织	⑲*	达卡 (Dacca)	
巴基斯坦 (Pakistan)		⑳	伊斯兰堡 (Islamabad)	
伊朗 (Iran)		㉑	德黑兰 (Teheran)	1978
沙特阿拉伯 (Saudi Arabia)		㉒	利雅得 (Riyad)	
智利 (Chile)	智利大学	㉓	圣地亚哥 (Santiago)	1980
澳大利亚 (Australia)	科学环境部	㉔*	艾丽斯·斯普林斯 (Alice Springs)	1980
印度尼西亚 (Indonesia)		㉕*	雅加达 (Jakarta)	

* 兼SPOT卫星地面接收站。

我国的遥感卫星地面站已于1986年6月11日投入运行。地面站整个系统分为接收站

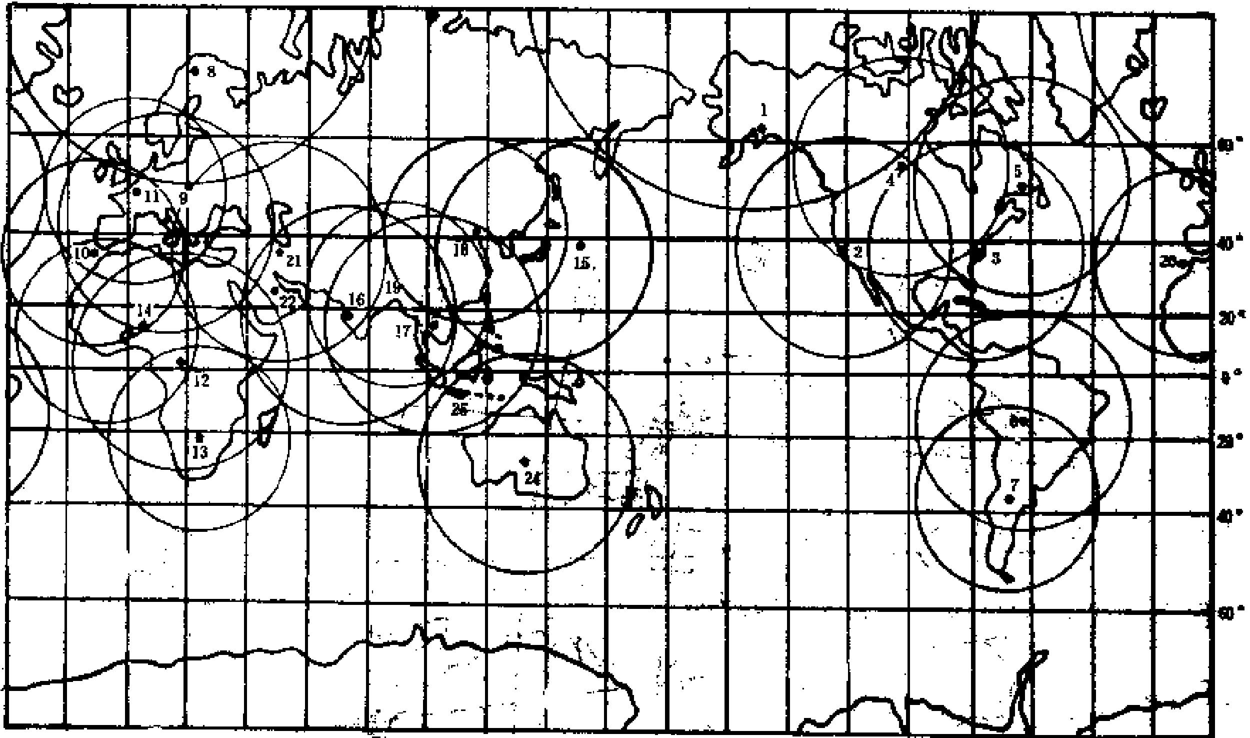


图 1-15 陆地卫星地面接收站覆盖范围

和处理站两大部分*。接收站设在北京密云（116°51′E、40°27′N，105米）。该地电磁干扰较小，地理环境宁静，并有足够的视场角。处理站设在北京市内，以便用户查访选购产品，并向用户提供分析应用服务。两站间数据传送采用高密度数字磁带(HDDT)方式，用空调车将磁带送到处理站。

接收站兼备X波段(8025—8400兆赫)和S波段(2200—2300兆赫)的跟踪卫星接收数据的能力，可接收Landsat的MSS、TM以及SPOT的HRV数据。并具有灵敏度高、系统自校等特点。接收站由以下几部分构成。

(1) 天线及伺服系统　即自动跟踪系统。天线为10米直径卡塞格伦天线。

(2) 接收分系统　跟踪接收采用伪单脉冲体制，信号接收后经和差比较器分离，再经跟踪接收机解调、硅控放大等，以完成跟踪和数据解调（为数据校正用）。

(3) 记录分系统　由于数据率高，数据量大，采用多道高密度磁带记录方式。最高记录密度为33000比特/英寸，记录最高速度为100兆比特/秒，误码率为10^{-6}。

(4) 计算机　以完成轨道预报及发出程序指令控制天线跟踪卫星。

(5) 模拟检测系统　为检测系统性能，配有模拟信号发生器和系统误码测试仪，以实现系统环路性能自检，检测在各不同输入电平系统误码特性。

(6) 定时系统　定时以格林威治时间为标准，配有我国标准时间。定时精度±1毫秒。

---

* 空间中心遥感卫星地面站，遥感卫星地面站情况介绍，1986年。

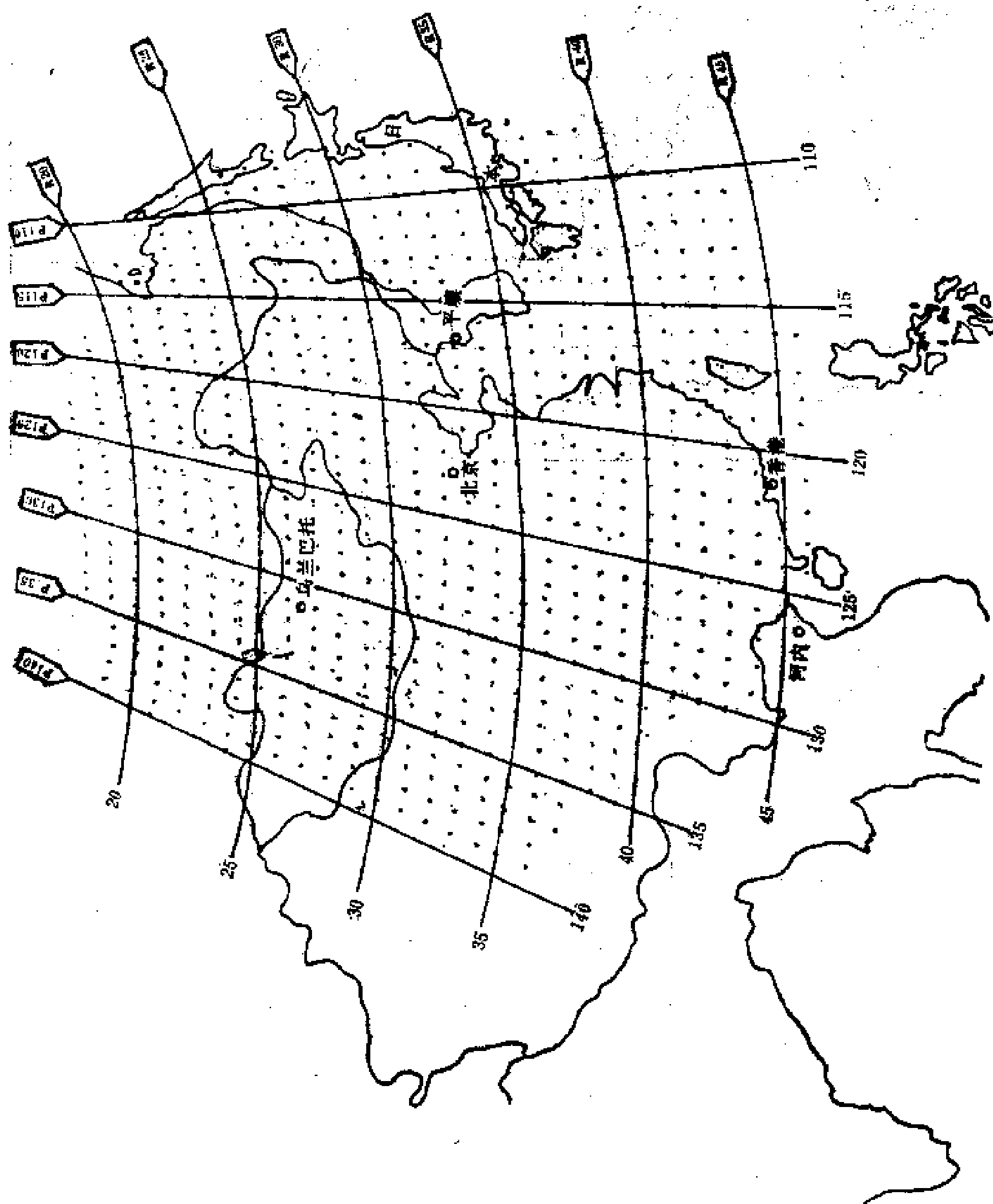


图 1-16 北京接收站陆地卫星图象覆盖范围

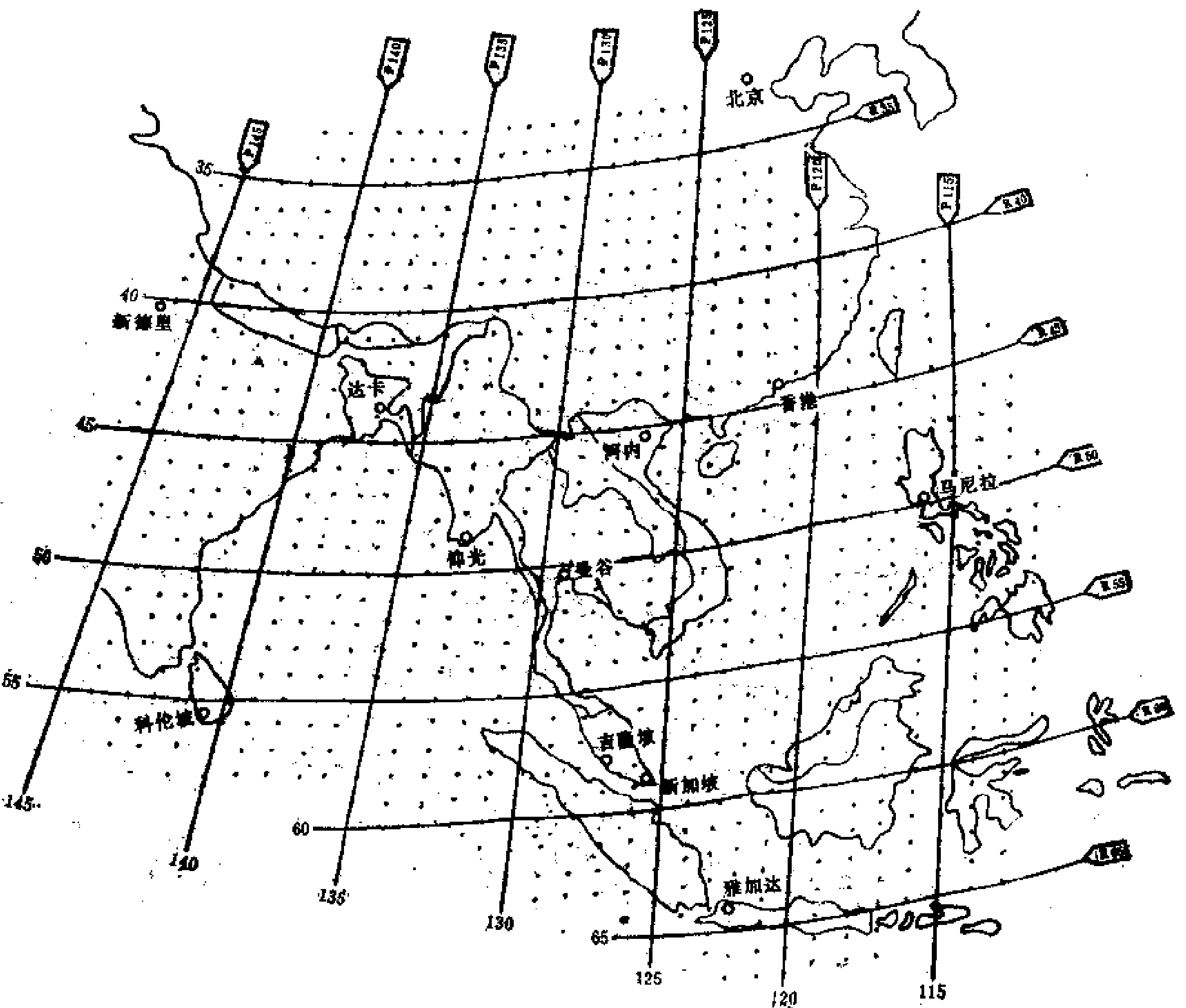


图 1-17 泰国曼谷接收站陆地卫星图象覆盖范围

(7) 信标塔　用来校验天线自动跟踪性能和调节自跟踪相位。

(8) 其它设备　如检测电子仪器等。

目前，我国地面接收站仅能覆盖我国80%面积(以北京为中心，半径为2400公里范内)。哈密以西的我国西部以及西南边境地区的资料收不到，准备在乌鲁木齐、广州各建接收站以弥补空缺。此外，泰国曼谷地面站、日本地面站、印度地面站，也分别接收和提供我国南部、东部与西南部的图象数据(图1-16，1-17，1-18)。

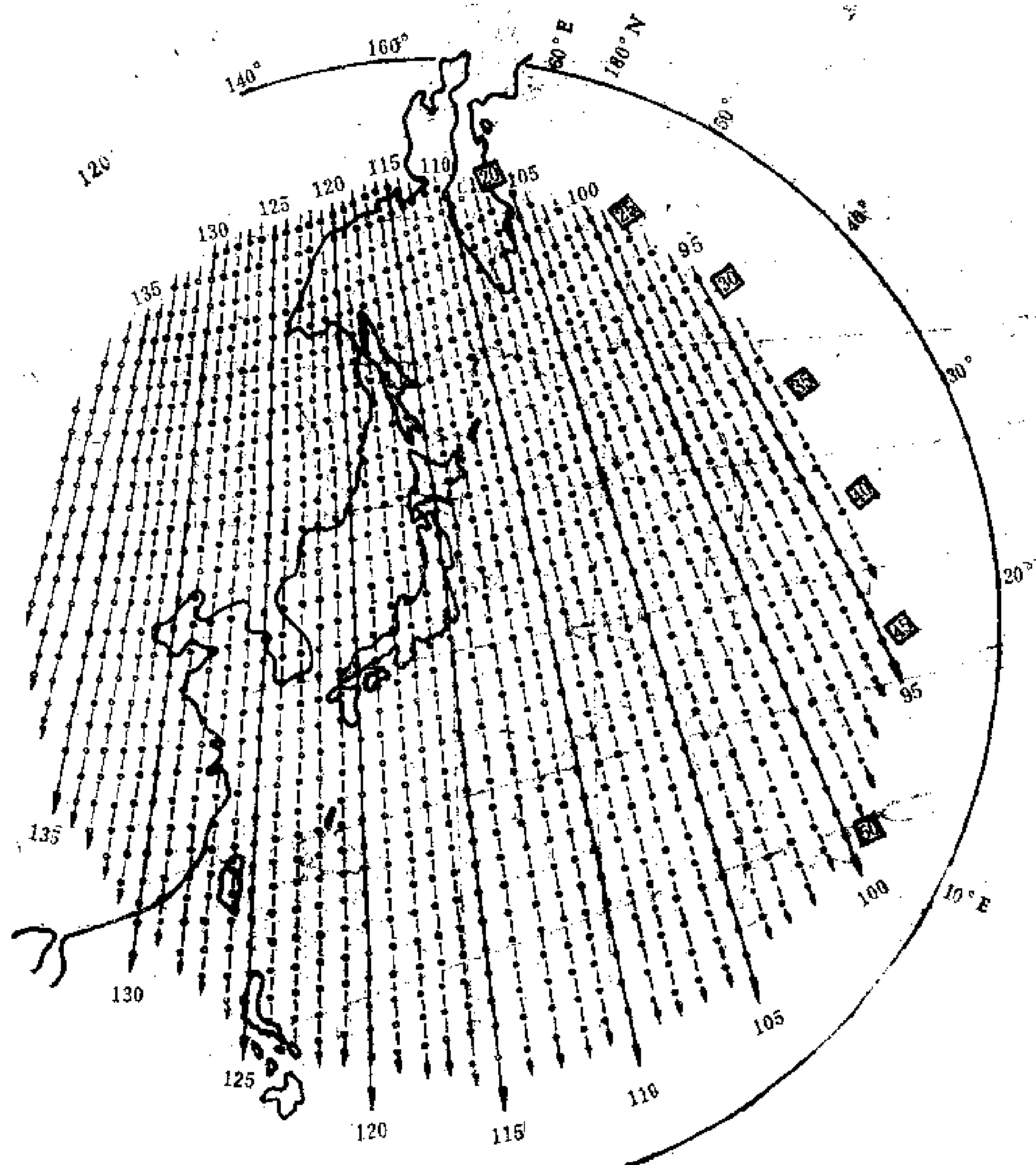


图 1-18　日本陆地卫星地面站覆盖范围

处理站包括计算机处理系统和照相处理系统两部分。

计算机处理系统的主要功能是经一系列设备，完成数据输入、分路、定幅、进行快

规、提取并处理校正用的数据、辐射校正、几何校正（一般做系统几何校正、也可做精校正)。其常规产品为计算机兼容磁带 CCT-P、CCT-A,同时根据需要生产 CCT-F，用于光机电组成的成象系统，产生潜影胶片。扫描成象仪的几何精度约 0.1 象元，密度精度±0.02D、以保证潜影的质量。此外，还可生产特殊产品。其主要设备是以两台 VAX11/780 主机和 AP180 阵列机为核心,配有独立的胶片成象计算机系统。其处理能力每天 2 景 TM 和 22 景 MSS，约需 22 机时。处理能力中还考虑了法国 SPOT 卫星数据的处理、分析及应用等需要。试运行以来，产品均达到 NASA、NOAA 标准。

照相处理系统的主要功能是把数据处理后由扫描成象仪输出的潜影胶片进行照相、洗相，产生多种类型规格的正负胶片、图片等产品（表 1-8)。其几何精度等能严格控制，并配有产品质量检验的先进技术设备。

表 1-8 照相处理系统图象产品种类

图象尺寸 (mm)	比例尺	B/W胶片	B/W相片	Color 胶片	Color 相片
50	1：336.9万	V	V	V	V
185	1：100万	V	V	V	V
370	1：50万		V	V	V
740	1：25万			V	V
1000	1：20万			V	V
1200	1：10万				V
1200	1：5 万				V

特殊产品有：

(1) 特殊组合的合成图象；

(2) 增强图象；

(3) 镶嵌图象；

(4) 幻灯片；

(5) 其它特殊要求的产品。

地面站还设有 4 套图象分析系统，可直接为各个技术经济部门提供服务，承担技术咨询和技术协作任务。

二、斯波特卫星——SPOT

地球观察卫星系统 (Système probatoire d'observation de la Teree——SPOT)，是由瑞典、比利时等国参加，法国国家空间研究中心 (CNES) 设计制造的。卫星设计为多用途的。它能满足资源调查、环境管理与监测、农作物估产、地质与矿产勘探、土地利用、测制地图及地图更新等多方面的需求。SPOT卫星计划包括 5 颗，每颗卫星寿

命最低2年。第一颗原定于1984年5月发射，后因经济与地面站等有关问题，直至1986年2月22日格林威治时间1时44分在法属圭亚那的库鲁空间中心由阿丽安娜(ARIANE)火箭发射送入轨道。SPOT 1的具体任务是：(1) 为开发自然资源绘制世界资源分布图提供数据；(2) 实验鉴别农作物品种，预报长势、收成；(3) 验证立体成象技术和高分辨率传感器的性能。SPOT2号已在组装，计划1989年发射。第3颗的实施计划尚在研究中，可能试验合成孔径雷达，且HRV传感器将增加红外波段，全色波段改成由4个波段合成，并将在卫星上安装广角低分辨率相机，期望其视野为2000公里，分辨率为900米，它可提供地面植物生长的全球监视，其寿命为4年。SPOT 3、4号的预算已获通过，这样便可保证SPOT资料至少有10年的连续性。

SPOT卫星星体长3米，宽2.5米，重1—2吨。为太阳同步圆形近极地轨道，轨道高度832公里，倾角98.7°，周期101.46分钟。每天绕地球旋转14+5/26圈，覆盖周期为26天，重复感测能力一般3—5天，部分地区可达1天。通过赤道的时间10点30分±15分钟。

(一) SPOT卫星系统的特点

1. 平台多功能，且可绕航轴旋转。由于考虑到地球自转效应，因而图象呈正方形或矩形、而不象Landsat图象呈平行四边形。卫星的姿态定位精度为0.05°，位移为6×10^{-4}度/秒，从而提高了遥感器的姿态稳定性，以保证取得高精度的几何图象。

2. 传感器为2台高分辨率可见光扫描仪(High Resolution Visible Sensor——HRV)，不用机械扫描系统而采用了“推扫式”(Push-broom) 扫描成象，其基本探测元件为新型的CCD (Charge Couple Device) 电荷耦合器件。HRV具有以下的优点：

(1) 图象空间分辨率高，可达10—20米。地面扫描宽度117公里 (每台60公里，两台间重叠3公里)。有两种工作方式：①单波段全色方式，0.51—0.73微米，地面分辨率为10米；②多光谱方式，有0.50—0.59、0.61—0.68、0.79—0.89微米三个波段，地面分辨率为20米。多波段的选择是总结了近10年的研究成果，认为仅用这3个波段就能取得辨别作物种类和植物类型的最佳效果。其中0.50—0.59微米，位于植被叶绿素光谱反射曲线最大值的波长附近，对植被识别有利，同时位于水体最小衰减值的长波一边，这样能探测水的混浊度和10—20米的水深；0.61—0.68微米，位于叶绿素吸收带，同MSS 5及TM 3相关性大，为可见光最佳波段，用于识别作物、裸露土壤和岩石表面状况；0.79—0.89微米，为近红外波段，能很好地穿透大气层，在该波段植被表现得特明亮，水体表现得很暗。这3个波段分别与陆地卫星MSS的4、5、7波段相似，但波长不超过0.9微米。这是为了避免大气水汽引起的响应调制作用及探测器电子扩散产生的模糊作用。

(2) 灵敏度高。在良好的光照条件下可探测出低于0.5%的地面反射变化。

(3) 带有可定向的反射镜，使仪器具有偏离天底点 (倾斜) 观察的能力 (倾角±27°)，可获得垂直与倾斜图象，可观察到轨道两侧475公里，共950±50公里宽度范围内的地面目标(彩页5(d))。观察计划由星上计算机控制。这样便可以从不同轨道上，以不同的角度来观测地面上同一点，使重复周期26天缩短到1—4天 (或5天)。即在26天

的周期内，中纬度地区可以观测12次，赤道约7次，纬度70°处则可达28次。这样，对在相对较短时间内探测局部现象的变化发展尤其有用。同时提高了图象的有效覆盖率。

3．具有立体观测能力(彩页5(c))。由于传感器具有倾斜观察能力，在不同轨道扫描重叠产生立体象对，因而提供了立体观测地面、描绘等高线或建立数字地形模型(DTM)、进行立体测图与立体显示的可能性（彩页5(a))。

(二) SPOT卫星的地面管理系统

SPOT卫星的控制，数据的接收、处理和应用，由法国国家空间研究中心(CNES)、法国国家地理院（IGN）和SPOT图象公司协同进行。SPOT卫星的地面管理系统设在法国图卢兹，它包括控制中心、任务中心、地面接收站以及图象存储与处理中心。

1．控制中心　负责定时测算SPOT卫星的轨道位置，通过星载计算机的程序控制和修正轨道偏差。

2．任务中心　根据用户需要，至少在二天前将观测任务（地区、时间、观测方式等）编入程序，控制SPOT卫星的HRV传感器工作。世界各地的用户和接收站均可通过电传、电话和计算机网络通讯直接与任务中心联系。

3．地面接收站　位于法属圭亚那和法国本土图卢兹附近的地面接收站，每天可接收700帧SPOT卫星图象。图象数据由压缩处理为标准格式记录在CCT磁带上，再送往空间研究中心所属的空间图象处理中心（CRIS)。

4．空间图象处理中心　负责原始图象数据的编目存档，进行影象质量评价和图象的一、二级预处理。

SPOT图象公司通过速视检查系统，对每天获取的图象进行质量评价和编目存档，以便向用户销售一、二级预处理的图象和磁带。它接受用户的定货单或预约任务，向空间图象纠正中心提出图象处理要求，向任务中心提出用户预约，获取SPOT卫星图象数据的要求。法国国家地理院负责预处理技术开发，并向用户提供一、二级预处理图象和三、四级处理图象，以及各种地图产品。

此外，还布置了数个地面站。地面站可接收半径为2600公里的卫星遥感数据，其中瑞典基律纳地面站、加拿大艾伯特王子城地面站首先开始接收SPOT数据，加拿大温哥华附近的纳奈莫地面站、孟加拉达卡地面站、印度海德拉巴地面站以及美国、阿根廷、泰国、中国及日本等地面站也将陆续兼容使用。我国北京密云建立的遥感卫星地面接收站将同时接收SPOT卫星图象。

(三) SPOT卫星的产品

SPOT卫星的HRV图象产品形式包括241毫米的胶片和CCT兼容磁带(磁带密度包括6250位/英寸、1600位/英寸)。影象基本比例尺为1：40万。根据产品处理程度可分为三级：

1．一级产品主要进行基本的辐射和几何校正。几何校正包括对地球自转、曲率，卫星高度、速度变化；瞄准角等引起的系统几何误差进行校正。校正后使垂直图象上测

图定位精度高于1.5公里（由姿态误差引起），比例尺误差小于1%。SPOT 1经一级预处理后的产品，根据控制点进行精度统计，最大剩余点位误差不超过200米。产品主要用于目视判读、分析、分类方面，并可满足1：50万制图的要求（垂直图象）。

2. 二级产品以地面控制点（GCP）为基础，主要对垂直图象作二维几何校正。产品可直接用于各种信息的复合分析（包括多波段、多时相SPOT数据的复合以及SPOT影象与地图复合等）。

3. 三级产品利用地面控制点（GCP）和数字地形模型（DTM）对垂直和倾斜图象进行投影差校正（即地势校正），产生正射图象。这一般仅根据用户要求进行。

SPOT卫星是目前可利用卫星中空间分辨率最高的。加上其时间分辨率也高达3—5天，局部地区为1天，并可立体观测，它的二、三级产品精度约为0.5个象元，达到1：10万标准地形图的精度要求。它可用于编制1：10万的国家基本地形图和更新1：5万甚至1：2.5万地形图，以及编制各种专题地图。它可以直接作为一种新型的遥感测图工具，大大缩短1：5万、1：10万地图的编制和更新周期，其经济效益是十分明显的（彩页（a））。此外，它主要应用于土地利用、资源调查、环境监测、作物估产、地质矿产、石油勘探等方面。

三、其它卫星

（一）天空实验室（Skglab）

美国的天空实验室为目前最大的载人空间站。它是"阿波罗"计划的扩充部分，于1973年5月25日—1974年2月8日在空中停留了数个月。飞行高度435公里，覆盖范围N50°—S50°。天空实验室上带有地球资源实验装置(Earth Resources Experiment Package——EREP)，它包括7个实验型照相机和电子影象系统，主要为一台由6架照相机组成的多谱段相机(其中4架装黑白片，分辨率9米；1架装彩色片，1架装彩红外片，分辨率均为15米)和一台大地地面照相机(Earth terrain camera)，以及多谱段扫描仪(分辨率80米)等。许多图象具有60%的前向重叠，可供立体观测。在6个多月的飞行中，宇航员共拍摄了3万多张地面图象，录制了72公里长的磁带。进行了30多项科学实验。

（二）热容量制图卫星(Heat Capacity Mapping Misson——HCMM)

热容量制图卫星由NASA于1978年4月26日发射至1981年止，为低成本、插座式小型应用卫星。发射该卫星的主要目的是以1：400万的比例尺收集地球表面特定区域的可见光、红外图象数据，测量目标的热容量或热惯量。它的轨道为与太阳同步的圆形轨道，轨道高度620公里(1980年2月23日—8月31日为540公里)，目的是使它能够在午间（约13：30）和清晨（约2：30）两个时候观察到同一地区。也就是保证卫星能够以接近于从最高温度到最低温度的循环周期对北半球中纬地区进行测量。

卫星上载有一台热容量测绘辐射计（HCMR），可获得可见—近红外（0.5—1.1微米）及远红外（10.5—12.5微米)两个波段的图象。地面分辨率分别为500米和600米，

地面覆盖宽度 716 公里，覆盖周期 16 天。这样通过对同一地区两个波段和两次观察可以探测该地区两个不同时间的地表温度和发射率的差异来反映地表下一定深度的温度梯度和热特性变化。对于地热场的研究，是一个唯一的很重要的资料，用以探测岩石类型、断层、土壤湿度、地面温度、作物长势、城市“热岛”效应、积雪区监测等。

（三）苏联的遥感系统

包括“联盟号”(Soyuz) 宇宙飞船，“礼炮号”(Salyut)、“和平号”载人宇宙飞船以及“宇宙号”(Cosmos)、“流星号”(Meteor) 无人宇宙飞船等，分别完成短—中—长期的摄影任务和多种科学实验。其主要特点是发展各种类型的摄影系统，并采用回收相机和胶片方式。

“联盟号”(Soyuz) 运用单波段和多波段相机，获得高分辨率的地球照片。飞船上主要载有一台 MKF-6 多波段摄影相机（民主德国、苏联共同设计）。相机有 6 个镜头，可以同时获得 6 个波段图象（其中 4 个可见光波段，2 个近红外波段），空间分辨率 20 米。

“礼炮号”轨道高度 250—270 公里，由于在轨道上停留时间长，并带有多种仪器，为研究地球上的大气圈、土壤表面、海域和海面、云层和气旋等提供资料，并可进行多种科学实验。

“流星—自然号”资源卫星 (Meteor—Nature) 主要为长期气象观测服务的，但带有电子传感器，其资料对资源遥感也很有用。轨道高度 650 公里，与太阳同步。

苏联的主要传感器，除各种类型的摄象系统，(如MRTVK、MKF-6、KFA-1000，分辨率 240—20—10 米)外，还有不同类型的多光谱扫描仪(2—8 个波段，最高分辨率 30 米)。如MSU-SA四通道光学—机械多波段扫描仪(覆盖范围 600 公里，分辨率 170 米)，MSU-VA 三通道电子多波段扫描仪 (覆盖范围 30 公里，分辨率 30 米)，Fragment-2 八通道多光谱扫描仪（覆盖范围 85 公里、分辨率 80 米）等。这些传感器已用于获得全苏联和其它有关国家的资料。

（四）地球资源卫星 (Bnaskara)

“Bnaskara”是以印度一位著名的天文学家命名。卫星由印度生产，1979—1981年由苏联代发射 2 颗。轨道高度 535 公里，轨道倾角51°。主要传感器为 2 个可见光波段的电视摄象机，覆盖范围325 公里×325 公里，分辨率 1000 米。另有微波辐射计等。尽管摄象机有些故障，但已获取了全印度的数千张图象，并用于探测地球资源。“Bnaskara2”仍在运行中。

印度 1988 年 3 月 17 日发射“遥感卫星”(IRS-1)，星上装有一台 6 通道多光谱扫描仪(MSS)和三台 2 通道的线阵影象自扫描仪 (LISS) ，可见—近红外波段，LISS-I 地面分辨率 72.5 米，扫描宽度 148 公里，LISS-Ⅱ 分辨率36.25米，扫描宽度合计 145 公里。1988—1990 年将发射第二颗，再带上一台微波传感器，印度的海德拉巴 (Hyderabad) 陆地卫星地面站将接收 IRS 数据。此卫星将覆盖我国西藏。

（五）赤道地球资源卫星（TERS）

Tropical Earth Resources Satellite——TERS，由印尼与荷兰合作，预计于1990年发射。这是资源卫星中唯一在赤道平面上发射的。轨道高度1680公里。重复覆盖北纬10°与南纬10°之间的整个热带雨林地区。采用了线性阵列传感器，此为高分辨率的可见光传感器，分辨率为10—20米，覆盖宽度100公里。由于热带雨林地区经常浓云覆盖且地面植被覆盖率高，因而将大量运用微波雷达遥感。

（六）空间实验室（Spacelab）

由欧空局与美国宇航局联合研制。用美国的航天飞机送入轨道，并通过中继卫星传输数据。轨道高度187—576公里，具体高度取决于飞行任务的要求。Spacelab的地球观察系统主要应用于大气、水、土地及地面测量等，将采用7类传感器，主要有蔡司航空相机，即摄影测量相机，提供分辨率10米的图象，可供编制1：5万地图和地学判读。微波遥感试验装置(MRSE)，包括一个为观察陆地的影象雷达，用于1983年的Spacelab 1上。Modular光电多光谱扫描仪，提供分辨率25米的彩色图象。

表1-9所列是已经发射和近期可能发射的遥感卫星。从这些卫星遥感资料中，可以说明以下几个问题：

(1) 作为卫星遥感信息源，有一定局限性。

(2) 遥感应用目标主要分三方面，一是直接增加国民经济所得，主要用于再生资源、非再生资源勘测；二是用于国家与地区性的规划；三是用于环境保护与管理，也就

表1-9 遥感卫星简表

卫星系列	卫星名称	国家	发射时间	传感器	波段	空间分辨率	地面探测幅宽
陆地观察卫星	Landsat 1	美国	1972—1978	MSS RBV	4 VIS, NIR 3 VIS, NIR	80m 80m	185km 185km
	Landsat 2	美国	1975—1983	MSS RBV	4 VIS, NIR 3 VIS, NIR	80m 80m	185km 185km
	Landsta 3	美国	1978—1983	MSS RBV	4 VIS, NIR 3 VIS, NIR	80m 40m	185km 185km
	Landsat 4	美国	1982—1984	MSS TM	4 VIS, NIR 6 VIS, NIR 1 TIR	80m 30m 120m	185km 185km
	SOYUZ SalYut COSMOS	苏联	1976—现在	MKF-6 KATE-140	6 VIS, NIR 1 VIS	20m	170km
	HCMM	美国	1978—1981	HCMR	2 NIR, TIR	500m	716km

续表

卫星系列	卫星名称	国　家	发射时间	传感器	波　　段	空　间分辨率	地面探测幅宽
陆地观察卫星	Bnaskara 1	印　度	1979—1980	TV	2　VIS	750m	325km
	Bnaskara 2	印　度	1981	TV	2　VIS	750m	325km
	Meteor	苏　联	1980—现在	MRTVK MSU-SA MSU-VS Fragment	2　VIS, NIR 4　VIS, NIR 3　VIS, NIR 8　VIS, NIR	240m 170m 30m 80m	1400km 600km 30km 85km
	Spacelab	欧空局	1983	Met, Cam	1　Col, B+W	10m	
	Landsat 5	美　国	1984—现在	MSS TM	4　VIS, NIR 6　VIS, NIR 1　TIR	80m 30m 120m	185km 185km
	Spot 1	法　国	1986—现在	HRV	3　VIS, NIP 1　PAN	20m 10m	117km 117km
	Spot 2	法　国	1989年以后	HR V	3　VIS, NIR 1　PAN	20m 10m	117km 117km
	IRS	印　度	1988—现在	LISS LISS	VIS, NIR VIS, NIR	73m 37m	148km 147km
	JERS	日　本	1990年以后	SAR MSS	1　L-band 4　VIS, NIR	25m 30m	200km 200km
	ERS 2	欧空局	1990年以后	SAR MSS	1　C - band 5　VIS, NIR	30m 30m	100km 100km
	TERS	荷兰/印尼	1990年以后	MSS	3　VIS, NIR 1　PAN	20m 10m	100km 100km
海洋观察卫星	Seasat 1	美　国	1978	SAR	1　L - band	25m	100km
	Nimbus 7	美　国	1978	CZCS	6　VIS, NIR, TIR	800m	1200km
	MOS 1	日　本	1987—现在	MESSR VTIR	4　VIR, NIR VIR 3　TIR	50m 900m 2700m	200km 1500km 1500km
	ERS 1	欧空局	1990年以后	SAR OCM	1　C-band 9　VIS,NIR, TIR	30m 800m	100km
	Radarsat	加拿大	1990年以后	SAR	1　C-band	25m	75km

是用于提高人民生活质量水平方面的也较为成功。

(3) 遥感发展趋势——多种遥感信息的复合和综合利用。

四、陆地卫星系统的应用

到目前为止，卫星遥感中应用最为广泛、深入的，莫过于陆地卫星系统。它几乎涉及地学及国民经济各个领域。这方面的成功例子很多，这里不再分门别类地讲它的应用，仅从以下四个方面加以说明。

(一) 从实验阶段到实用、半实用阶段

现在，遥感应用越来越为生产服务，为国民经济服务，直接解决生产上提出的问题，并取得明显的社会经济效益。

遥感只是一种获取信息的手段。它是人们认识自然、改造自然过程中信息传递的一个环节。

目前我国铁道、地质、水电、测绘部门在工程地质、勘探设计等方面已经把遥感纳入生产规范，作为必要的手段之一。特别是在国家大型建设前期工程的可行性论证、选址分析、最佳方案选择预研究中。遥感图象的应用已被证明是颇有成效的。在我国，广东大亚湾核电站、山东龙口火电站、丹江口水库、长江三斗坪水库、珠江红水河水库等的建设前期，均进行了陆地卫星遥感分析。

随着国民经济建设的发展，一些工程地质条件差的地区也需要进行大型工程建设。如，四川雅砻江下游的二滩水电站、宁夏大坝电厂、内蒙海勃湾电厂均位于我国第一阶梯线——著名的“南北地震带”内，而黄河小浪底水利枢纽则位于我国第二阶梯线附近。所谓阶梯线，实际上既是重力异常梯度带又是深大断裂带，其两侧的地壳厚度、结构、地貌景观、地震强弱均表现出明显的差异。这些巨型的线性形迹在陆地卫星影象上就有明显的显示。这里是地壳的薄弱地带，断裂带较密集，往往多组构造交汇复合，工程地质条件差。在这里进行大型工程建设就必须详细分析区域背景，寻找相对稳定的地段。除了用常规地学方法外，遥感在揭示线性形迹和景观区域分异方面有独特的效能。通过计算机和光学图象处理，对各类遥感图象上提供的线性、环形构造信息结合地面调查、地球物理勘探、历史地震等资料，进行认真地分析研究，确定构造带的主体部位及其近期活动中心，或进行构造稳定性、地震背景的分析及诱发地震的推测，以评定工程的区域稳定性，在活动断裂地区选择相对的“安全岛”，选取合理的设防烈度等，为工程实施提供科学依据。在这些工程中，遥感工作者所提出的看法多得到了公众的重视，并经常被有关设计施工部门所采纳。

目前工程建设的发展已经从工程地质问题扩展到环境工程问题，不仅着眼于选址和地基稳定性分析，同时还需要考虑生态环境的变化、区域经济开发、电力市场等等多方面的社会经济效益与环境保护问题。遥感提供的大量综合信息为环境工程研究提供可能性和有效性，如遥感研究环境污染、航运车船流量、土壤盐渍化、冰雪水源、水土保持等均能在环境工程中发挥效益。

此外，卫星遥感在全国性资源调查中也发挥着重大作用。如1980年6月至1983年12月，农委组织国家测绘局、林业部、农牧渔业部等46个单位，利用全国560幅1：25万陆地卫星多光谱遥感图象，完成了全国和分省土地资源调查、量算了全国和分省土地总面积以及15种土地利用类型面积（包括耕地、林地、草地、城乡居民点、工矿用地、道路用地、河渠、湖泊水库、沙地、冰川、裸地、石山、戈壁、沼泽、滩涂、其它15种），编制了全国1：200万土地利用现状卫星影象图以及738幅1：25万土地利用现状图[5]。具体做法是：将陆地卫星象片经平面定位和光学纠正后放大成1：25万，通过多时相卫片的比较分析，并收集了全国一千多个县的物候资料作为土地分类以及选择遥感资料时间分辨率的参考，确定统一的分类系统；地类判读以外业典型区训练（样区300多个）和内业判读编图相结合（判对率达90%以上），采用电子扫描面积量测仪和电子计算机量算；用1：25万地图的理论面积控制进行（国家、省、地类）三级平差，为了提高耕地精度，利用800张航片（放大为1：5000）建立一些相关系数，进行耕地中的非耕地面积扣除。最后获得全国及分省土地资源的基本数据、图件（国家级精度达[illegible]），相对误差小于10%，均达到国家级和省级概查标准，并大大节约了人力、物力、财力和时间。

（二）从定性判读到定量分析

遥感应用越来越向数量化发展。遥感地学分析使地学分析可根据有限的地面实况进行外拓，以获得一定精度保证的定量分析资料。

在资源清查方面，遥感应用已从一般的描述分类与制图到运用光学和计算机处理技术，编制各类专题图，进行长度、面积量算，进而估产的定量化水平。除前述的全国土地资源调查外，还有全国土壤侵蚀调查、草场遥感调查、山西太原幅的农业自然条件调查、三江平原的资源调查等。这些调查基本上都是采用陆地卫星MSS影象的光助、机助目视解译与一些传统的统计和专业定量方法相结合，以达到了解资源条件和数量，满足国家的资源规划、管理和决策需要。这是一种在定性基础上的定量分析形式。

另一种形式是直接运用遥感数据进行数字定量分析。1984年林科院和吉林省林业局在我国北方林区的12个林场（总面积20.8万公顷）进行了"森林资源调查中卫星多光谱扫描数据的应用实验"是直接利用陆地卫星数据进行定量分析的一个实例[6]。

1．训练样地的选择和处理

共选择训练样地76块。同时选取16个控制点，在确定了这些样地的地理坐标后，使用控制点建立样地地理坐标与卫星数字图象象元间的变换方程，并用最小二乘法估计坐标方程式的系数。把样块转换到卫星数据图象的训练区上，作为分类和蓄积量计算的基本数据。

2．土地类型的分类

分类系统的建立主要通过对类型样地统计值的主成分分析完成。具体可分出林地包括针叶林、混交林、阔叶林、杨桦林的中龄林和成熟林以及幼林、非林地等十种地类（幼林的树种不易区分归为一类）。图象分类采用四个波段一次分类方法。

3．森林蓄积量的计算

首先，根据森林学的特点，确定三个因子：林分类型（针叶林、混交林、阔叶林、杨桦林）、龄组（成熟林组、中林组、幼林组）、密度（密、中、疏）。每个象元的三个变量的值均通过监督分类确定。估算蓄积量时，用训练样地实测地类（三个因子的类型值）和蓄积量数值建立记分模型（即数学关系式），将监督分类确定的每个象元三个变量的值代入记分模型，得每个象元的蓄积量，再进行汇总得分类量和总量。这是一种以陆地卫星各波段亮度值的林学特征为基础，采用非线性数字模型，配合地面样地直接估计森林蓄积量的方法。

输出的结果为森林分布图和蓄积量分布图。其分类精度达 88% 以上。森林蓄积量计算结果其相关系数达 0.946，全林业局总蓄积量估算精度为 91.94%。

可见，这种遥感数学分析方法进行大面积森林调查和蓄积量计算，效率高、成本低，可节省大量地面工作量，又有一定的精度保证，是一种行之有效的方法。

（三）从静态研究到动态分析

遥感动态分析就是以具有时间系列的遥感信息来研究地球表面物质与能量的迁移规律及发展趋势。在遥感应用的初始阶段，判读者往往仅限于某一日期图象的解译分类。也就是"静态分析"，其目标常常是为了提高分类精度。随着遥感应用分析的深入以及社会实际生产及生活中动态监测及变化预测的需要，遥感应用开始越来越多地卷入多时相图象分析的工作中。当然，遥感技术本身的发展，信息传输、接收和处理过程的不断改善，卫星遥感信息源的不断增加，周期性遥感图象和数据资料的不断积累，从各方面保证了多时相遥感动态分析的进行。

通过陆地卫星收集危地马拉弗哥火山自动记录数据，正确地分析并成功地预报了1973 年 2 月的一次火山爆发。洞庭湖是我国第二大淡水湖，为长江流域最重要的蓄洪调节湖泊。长江与四水（湘、资、沅、澧）携带的大量泥沙沉积，使湖盆变浅变小，原有湖盆9000 多平方公里，现仅有 2300 多平方公里。它的调洪能力涉及到蓄水能力的估算问题，即计算湖水面积和容积。湖水水位变化决定了湖水面积及湖中水量的增减，单纯从它周围 20 多个水文站的水文资料计算和建立模式，耗资大、时间长、难度大。这里充分利用多时相的遥感资料，将是有效的。运用 1978—1982 年间 18 个不同时相的陆地卫星图象*，计算其淹没范围，然后再与水文站的水位记录、湖底地形图的高程三者综合起来，建立水位、面积与湖水体积的数学关系式。这样可以通过多时相的遥感信息及时了解湖面面积和计算出水位和蓄洪体积，进行动态分析，为防洪、调洪提供科学依据。

（四）遥感地学综合分析

遥感应用越来越向多种信息复合的方向发展。通过多种遥感与非遥感的数据源，根据各种地学数字模式，并借助于地理信息系统的支持，进行遥感地学综合分析。

负有盛名的大面积作物估产试验(Large Area Crop Inventory Experiment——

* 刘伟等：陆地卫星图象在洞庭湖水资源调查中的应用。

LACIE)，目的在于估算全世界主要作物产量，调查全球性的农业资源。由美国农业部、NASA、NOAA等三个大单位联合进行。1975—1976年间，美国对中部大平原、加拿大和苏联部分地区进行小麦估产，精度达90%；1982年在美国六个洲内对小麦、棉花、大豆、玉米估产，精度达93%。这项研究是把卫星影象、地面模拟研究、历史资料结合起来，并运用计算机技术和统计分析方法，经过多年实践，根据不同条件提出了多种估算模式，逐步建立起作物耕种条件、肥力状况、生长条件、作物叶片指数与产量的关系模型，可信度逐步提高从1974年的63%，到1975年的78%，1976年的85%，1977年的93%，1978年提高到97%。

在大面积小麦估产中，作物单位面积产量与作物的长势、所在地的水热条件等因素密切相关。前者主要靠陆地卫星资料得到，后者从气象卫星资料中获得。陆地卫星多时相资料用以研究作物类别、布局、种植面积、长势（小麦播种、发芽、反青、抽穗、黄熟、收割的长势）等，气象卫星资料用以分析区域的热量和水分，从云图上可以精确知道世界上每个地区的日照量和降水量、云量以及季节分布状况等。此外，还必须用历史统计资料及地面实况资料进行检验与校正。这里用了50年以来小麦单产增长趋势、品种改良等统计数据以及作物光谱、农事历、农业小气候、作物实际种植面积、单位面积产量等地面实况资料。在美国设有数百个地面实况站，进行多种内容的调查和取样。把陆地卫星、气象卫星资料以及历史统计数据、地面实况数据等均输入计算机，用一套严格而复杂的程序，通过一系列运算过程，从几百个参数中，选出35种不同因子，建立起不同地区的多种估产模式。正因为考虑的参数较为全面，科学储备较丰富，才保证了全球范围估产的可靠性，而使大面积作物估产，尤其是小麦估产研究获得成功。这对大面积其它作物估产，进而获得全世界粮食产量的情报，以便决定本国的经济策略和粮食布局等提供极有价值的信息。

美国1980年开展的农业与资源宇航遥感（简称AGRISTARS），是一项内容更为广泛的研究项目。它包括土地与再生资源（森林、草场、水等）的遥感调查、评价、管理，作物生长环境条件的监测和产量估算等。根据气象卫星获得的有关雨量、温度、湿度等数据，结合各地作物生长日历（农事历），再配合陆地卫星及其它宇航飞行器获得的遥感资料，经过分析、解译，便能相当准确地识别8种主要作物类型，统计其播种面积，及时更新土地利用现状图。并能对作物、森林、草场的环境条件进行评价、分级分区、监测预报其动态变化趋势，如作物叶片缺水、缺肥或遭受病虫害，水土流失、水土污染、土壤盐渍化、沙漠化、沼泽化的发展及其防治措施效果等。这项试验研究已取得不少成果，目前还在继续进行。

参考文献

〔1〕F.萨宾：遥感原理与解译，地质出版社，1980年

〔2〕日本遥感研究会：遥感原理概要，科学出版社，1981年

〔3〕D.L.Williams et al.,陆地卫星—D的数据获取及其应用计划，*Joint Proceedings of the ASP—ACSM 1979 FAll Technical Meeting*,遥感技术译文集

（第二辑），测绘出版社，1983 年
〔4〕R.Rosso,SPOT 遥感卫星图象几何质量的评价，遥感技术译文集（第二辑），测绘出版社，1983 年
〔5〕李伯衡：中国土地资源遥感调查与制图，遥感在规划、管理、决策中的应用与发展论文集，测绘出版社，1985年
〔6〕徐冠华等：森林资源调查中卫星多光谱扫描数据应用实验，（同上）
〔7〕杨明辉：法国SPOT卫星计划与数字图象处理进展，《遥感信息》，第 3 期，1989 年
〔8〕Anuta P. et al., Landsat-4 MSS and TM Data Quality and Information Content Analysis, *IEEE Geosct Remote*, GE-22 (3), 1984
〔9〕Malila W. et al.,Characterzation of Landsat-4 MSS and TM Digital Image Data, *IEEE Geosct Remote*, GE-22 (3), 1984
〔10〕何昌垂：第二代地球资源卫星遥感的特点及其应用问题，《地理科学》，第2卷，第 2 期，1982 年
〔11〕中国科学院遥感应用研究所：陆地卫星影象中国地学分析图集，科学出版社，1984 年

第三节 气象与海洋卫星系列的地学评价

一、气象卫星系列的地学评介

（一）气象卫星的发展

气象卫星是最早发展起来的环境卫星。它是从外空对地球和大气进行气象观测的一种工具。从 1960 年4 月 1 日美国发射第一颗实验性气象卫星(TIROS-1)以来，二十多年来已先后有多种实验性或业务性气象卫星进入不同轨道。气象卫星所得到的遥感信息不论在气象分析预报和气象研究及环境科学等方面都显示了强大的生命力。气象卫星本身也经历了三次明显的更新换代。

1．60年代发射的第一代气象卫星

（1）泰诺斯（TIROS——Television and Infrared Observation Satellite System)电视和红外辐射观测卫星。1960—1965 年共发射10颗。轨道为低倾角（48.3°—58.5°，第9、10 颗倾角 96°—98°)、椭圆形，轨道高度约 700 公里(第 9、10 颗 800多公里)。以光导摄象机成象（窄角12°、中角 78°、广角 104°)，图象存储在卫星的磁带机上，当卫星经过接收站上空时，根据该站发来的指令回放。1963 年 12 月发射的TIROS-8 带有一个特殊的自动图象传输装置 APT，首次实现了卫星实时观察、自动传输，使各国接收气象卫星云图成为可能，为气象界进入气象卫星时代创造了条件。TIROS-9 的卫星姿态控制第一次采用自旋稳定（Wheel）方式。TIROS-10 与太阳同步。

（2）艾萨（ESSA——Environmental Science Service Administration Satellites），起初命名为TOS——TIROS Operational System 属第一代TIROS业务卫星系统，后改为环境科学服务卫星。它相当于第二代TIROS卫星。于1966—1969年共发射9颗。1966年2月3日发射的ESSA 1为第一颗业务应用气象卫星。卫星象车轮似的沿轨道转动前进。极地近圆形轨道，轨道高度约1600公里，倾角97.9°—101.9°。仍是光导摄象机成象，仅得白天图象。ESSA首次把云图利用于气象预报中，使其成果业务化。

（3）"雨云"Nimbus 1—3实验性气象卫星。于1964—1969年共发射三颗。轨道高度约1100—1300公里。专用于试验新的观测仪器以及对船舶、浮标站等气象观测资料收集方式进行试验。由于仪器多、技术较复杂、重量大、因而失误多。

（4）艾托斯（ATS——Application Technology Satellite）应用技术实验卫星，为静止气象卫星。1966—1967年发射两颗。轨道与地球同步，大部分轨道高度约35800公里。每20—30分钟拍一张图。可监视变化快、寿命短的天气系统。ATS 3成功地拍摄了云的彩色图象。

此外，苏联科学实验卫星（宇宙号）共13颗（1963—1969年）；苏联业务卫星（流星号）2颗（1969年）。

第一代气象卫星的主要特点是多运用可见光摄象技术（电视摄象机），获取白天可见光云图资料（TIROS带有红外辐射计，但仅进行了夜间拍摄实验）。

2．1970—1977年发射的第二代气象卫星

（1）ITOS-1（Improved TIROS Operational System）改进型TIROS业务气象卫星，相当于第三代TIROS卫星，于1970年1月发射。它与随后发射的（1970年12月）NOAA 1相同，共同构成了TIROS-M/ITOS系列。轨道高度约1600公里，姿态采用三轴定向控制系统，可使卫星总是面向地球中心。运用了红外扫描辐射计和电视摄象机，提供白天和夜间云图。

（2）诺瓦NOAA1-5业务卫星

从1972年10月—1976年7月发射的NOAA 2-5又称为ITOS-D系列。成象改为甚高分辨率辐射仪（VHRR），同时取得白天、夜间的云图，其可见光和红外图象的分辨率约为1公里，并带有垂直温度探测装置（VTPR），探测全球表面（包括海面）到30公里的大气温度垂直分布和水汽含量。同时实现了高分辨率图象传输（HRPT）。卫星采用三轴稳定方式。轨道特征与ESSA系列相似，为近极地太阳同步轨道，轨道高度约1500公里。

（3）"雨云"气象卫星 Nimbus 4—6，1970—1975年发射3颗。轨道高度约1100公里。

（4）SMS（Synchronous Meteorological Satellite）地球同步气象卫星，为业务的静止气象卫星。SMS 1（1974年5月）、SMS 2（1975年2月），属美国宇航局的。

（5）戈斯GOES（Geostationary Operational Environmental Satellite）

静止同步环境应用卫星。与SMS相同，但属于美国海洋大气局。轨道高度约36000公里。GOES 1（1975年10月）、GOES 2（1977年1月）、GOES 3（1978年3月），也载有可见光、红外扫描辐射仪（VISSR），可对6000公里的覆盖区进行全景扫描，也可根据地面指令作局部扫描。每20—30分钟向地面发送可见光和红外图象，中心点分辨率分别为1.25公里和5公里。

（6）苏联的“流星”Ⅱ型气象卫星（Meteop Ⅱ）。

（7）日本的对地静止气象卫星（GMS），于1977年7月以来发射3颗。定位于东经140°，赤道上空35800公里处。载有可见光红外机械扫描辐射计（VISSR），摄取地球上白天和夜间云图，每25分钟一张。观察半径约600公里，包括我国大部分地区。得到的原始数据数字化后发送指令给数据接收站处理。还载有空间环境监视器。此外，可以收集固定或移动地面台站的气象和地球海洋资料，发送传真云图。

（8）欧空局的Meteosat，1977年发射。

第二代气象卫星的主要特点：

（1）扫描辐射仪（SR，VHRR，VISSR）逐步代替了电视摄象技术。

（2）普遍采用两通道传感器，可提供全球昼夜高低分辨率的云图资料，定量计算海面和云顶温度等，并记录地球表面与大气的瞬息变化，连续提供地球上所发生的气象变化，同时也提供地面温度、水文等资料。从单纯的气象观测向着多用途迈进。

（3）建立起全球气象卫星探测系统。它包括5颗静止气象卫星和2颗极轨气象卫星（表1-10、图1-19）。

表1-10 全球气象卫星系统

(a) 静止气象卫星

承担国家	卫星名称	卫星监视区域	位置	发射日期
日本	GMS	西太平洋、东南亚、澳大利亚	E140°	1977年7月
美国	SMS/GOES	北美大陆西部、东太平洋	W140°	1974年5月
美国	SMS/GOES	北美大陆东部、南美大陆	W70°	1975年2月
欧空局	Meteosat	欧洲、非洲大陆	0°	1977年9月
苏联	COMS	亚洲大陆中部印度洋	E70°	1970年

(b) 极地轨道气象卫星

承担国家	卫星名称	备注
美国 苏联	NOAA系列 Meteop系列	从约800-1500公里高处，南北向地绕地球运行，对东西约3000公里的带状地域进行观测，一日二次，在极地地区观测特别密集

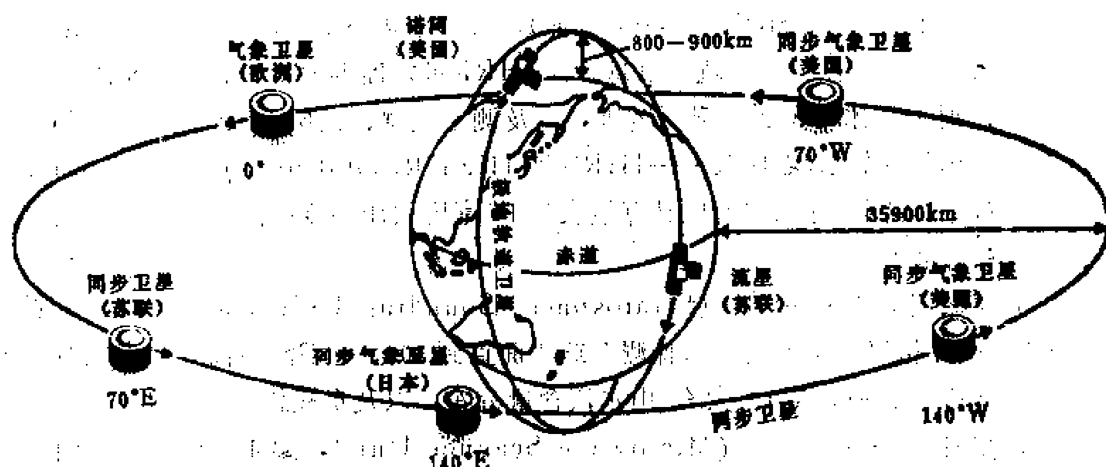


图 1-19 全球气象卫星系统的覆盖图

这个全球气象卫星系统作为一个长期的世界气象监视网计划(World Weather Watch——W.W.W.)的最重要一环。由64个国家配合同步实验。名为"全球大气研究计划"(FGGE)于1978年12月开始。我国参加了此项工作。这是全球同步多要素观测的开端。有了这个系统就可以连续监视地球上任何一地区的天气变化。

3. 1978年10月13日TIROS-N卫星的发射标志着第三代气象卫星的开始

(1) TIROS-N与NOAA6-10共同组成TIROS-N/NOAA系列。每颗卫星寿命约2年。近极地太阳同步近圆形轨道,采用双星系统,轨道平均高度分别为833公里和870公里,倾角分别为98.7°和98.9°,周期分别为101.6分和102分。星上载有六种传感器,分别为:

①改进型甚高分辨率辐射仪——AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer),为一台旋转平面镜式光机扫描仪。探测器扫描角度为±55.4°,扫描带宽约2800公里,因此两条轨道可覆盖我国大部分国土,三条轨道可以完全覆盖我国,它有5个光谱通道,其中可见光波段0.58—0.68微米(NOAA 6以前为0.55—0.9微米),近红外波段0.725—1.1微米,热红外波段分别为3.55—3.93微米、10.5—11.5微米、11.5—12.5微米。空间分辨率1.1公里,部分地区为4公里。重复观测周期缩短到1/2天。在双星系统下,同一地点每天有4次过境资料。我国观测的时间,一颗为7点30分、19点30分,另一颗为3点、15点(地方时)。AVHRR具有较高的辐射分辨率,其数据量化等级为1024(10比特数据结构),温度分辨率达1℃。由于扫描带宽(2800公里),则地球曲率、大气和目标的方向反射特征,以及传感器扫描角和太阳高度的差异,均对数据影响较大。因而,AVHRR的数据变形较大,几何畸变较严重,这在扫描带两侧尤为明显。经研究认为,要想获取较高质量的数据,就应尽可能选择±30°扫描角以内的数据,它对应的地面扫描带宽870公里。AVHRR数据传输形式有三种:自动图象传输——APT(经线性化后的低分辨率模拟信号);实时高分辨率数据传输——HRPT数据;星载磁带记录器回放数据(非实时传输),由于星上记录器容量有限,故采

用两种数据形式，一是分辨率1.1公里的原始数字信号，只能记录部分轨道覆盖区域，一是全球区域覆盖数据（GAC），这是一种经重新取样后的信号(每3条扫描线取一条，每5个象元取前4个的平均值构成一个新象元)，分辨率4公里。由于数据容量减少，因而星上记录器可能记录整条轨道信息。AVHRR可以提供大量资料，包括测海面、云顶温度，识别云、冰雪覆盖、融雪范围，以及测定土壤、云层、大气湿度等。

②高分辨率红外辐射探测仪——HIRS/2(High Resolution Infrared Sounder)共20个通道，主要测量红外辐射以计算地表到10毫巴气压高度的温度廓线、大气水汽含量、臭氧总含量等。

③平流层探测装置——SSU (Stratosphere Sounding Unit)，3个通道，主要探测红外 CO_2 区，获得平流层温度，即探测全球表面直到50公里平流层高度的大气温度垂直分布（测温精度1—1.5℃）、大气中水汽含量分布，以及臭氧总含量。

④微波探测装置——MSU (Microwave Scanner Unit)，共4个通道，探测波段选在微波氧气吸收带，探测地表到20公里有云存在时的温度廓线。

以上三者统称垂直探测器——TOVS。

⑤数据采集系统——DCS (Data Collection System)，接收地面上固定或活动气象台站发送的观测资料，同时可对有关观测器进行定位，定位精度达3—5公里。

⑥空间环境监测器——SEM (Space Environmental Monitor)。测量太阳质子、α粒子和电子通量、密度等，为高层大气物理研究提供数据，同时对近地表环境的能量消耗进行监测。

TIROS-N 卫星也相当于第四代TIROS卫星。

NOAA 6 (1979年6月27日—1983年3月)，当 NOAA 8 (1983年3月28日—1984年6月）停止工作后，NOAA 6 于1984年6月24日重新启动，记录32公里平流层以下穿过云层的垂直温度，昼夜记录精度达1℃，同时测定土壤、云层及大气的湿度等。

NOAA 7 (1981年6月23日—1984年12月)利用被动微波（热力）测量温度，穿透云层昼夜观测，观察平流层的臭氧，测绘 NO、M_2O、CO_2 与灰尘(影响大气温度与成分)，也测地球吸收太阳辐射与散射的热量平衡。NOAA 9（1984年12月至今)，NOAA 10（1986年9月17日至今）

（2）Nimbus 7，于1978年10月24日发射。携带的仪器有：

①多通道微波辐射计——SMMR (Scanning Multichannal Microwave Radiormeter)；

②平流层、对流层探测器——SAMS (Stratosphere and Mesosphere Sounder)；

③太阳紫外光反射计，即太阳反向散射紫外光谱仪——SBUV/TOMS (Sola Backscatter Ultravoilet/Total Ozone Mapping System)；

④地表辐射预算装置——ERB (Earth Radiation Budget)，

⑤海岸带彩色扫描仪——CZCS (Coastal Zone Color Scanner)；

⑥平流层大气测量装置——SAM Ⅱ (Stratospheric Aerosol Measurement Ⅱ

Experiment)；

⑦温度与湿度红外辐射器——THIR (Temperature—Humidity Infrared Radiometer)；

⑧平流层红外监测器——LIMS (Limb Infrared Monitoring of the Stratosphere experiment)。

（3）GEOS 4—6静止环境应用卫星，主要仪器有：

①可见光、红外机械扫描辐射计——VISSR (Visible Infrared Spin—Scan Radiometer)；

②VISSR大气探测装置——VAR (VISSR Atmospheric Sounder)；

③其它：地球辐射平衡实验装置，固定的视场仪、地球快看观测仪、平流层大气(O_3)与气体探测仪等。美国每月发行一本资料汇编。

第三代气象卫星的特点：

（1）传感器从数量到质量均有较大提高，特别是AVHRR代替了VHRR；从双通道增为多通道；并新增了多种非气象性遥感的探测项目，如CZCS等。

（2）观测精度提高，观测的大气温度值提高到1—1.5℃，云图的空间分辨率达1公里。

（3）图象修正工作由星上仪器完成，资料传输系统改为图象和数字两种方法，并以数字为主。由此大大提高了速度、精度和抗干扰能力。

（4）国际间合作大大加强，向全球100多个接收站提供每天的资料。

（二）气象卫星的特点

1．轨道

气象卫星可以根据不同发射目的选择不同的轨道高度、倾角、形状等。一般说来气象卫星轨道可分为两种。

（1）低轨——近极地太阳同步轨道，简称极地轨道。气象卫星从约800—1600公里高处，南北向绕地球运转，每周经极地附近，对东西宽约2800公里的带状地域进行观测。一日两次（对某一点而言），在极地地区观测频繁。由于地球自转可获得全球观测资料，又由于与太阳同步使卫星每天在固定时间（地方时）经过每个地点上空。以保证相同的照明条件和足够的太阳能。采用近圆形轨道可以不需进行高度校正，图象等大且定位方法简单，从而保证图片质量。

（2）高轨——地球同步轨道。气象卫星在赤道上空近36000公里高处，绕地球一周需24小时，这时卫星公转角速度和地球自转角速度相等，故看起来似乎固定在天空上某一点，又称为静止气象卫星。它能观测地球的1/4面积，若有3—4个这种卫星则能形成空间监测网对全球中低纬地区进行观测，对某一固定地区每隔20—30分钟可以获得一次观测资料。采用近圆形轨道。由于它与地球相对静止，所以可作为通讯中继站，用无线电波传播各种天气资料，如天气图、预报图、云图等。地面通讯中心只要先把资料发送给卫星，通过卫星可转播到更远的接收地点（图1-20）。

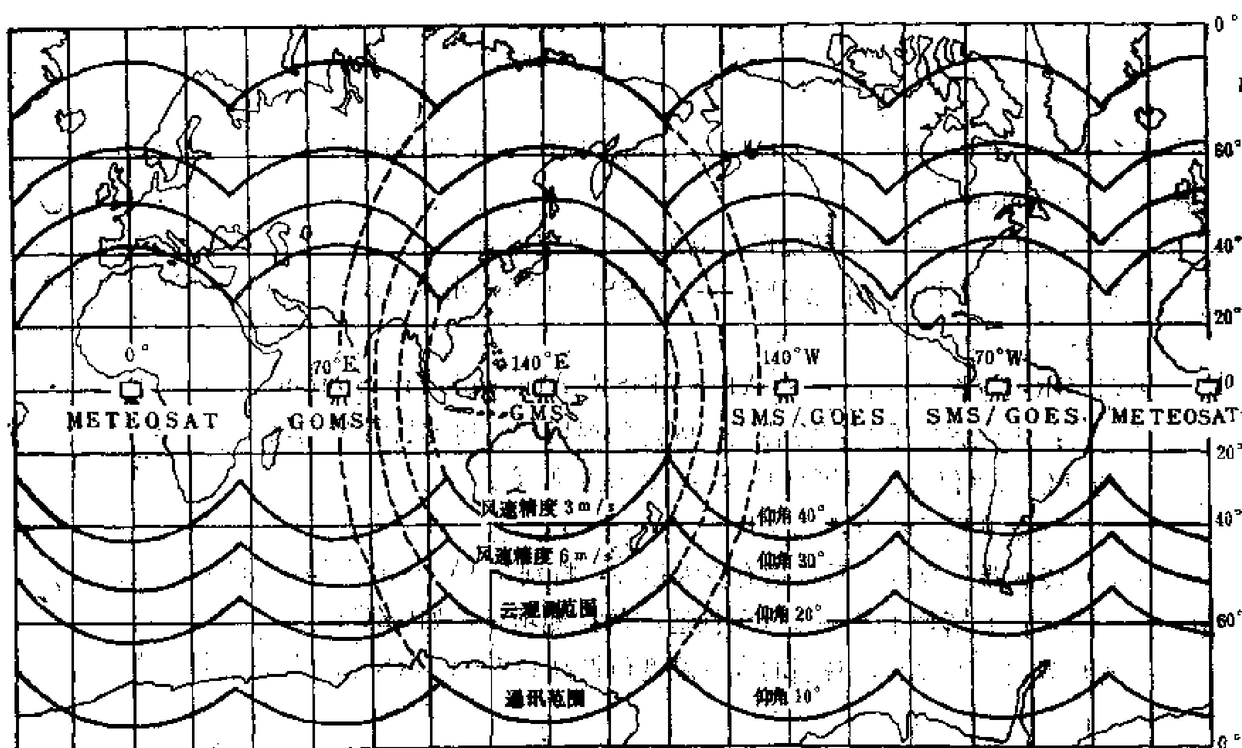


图 1-20 静止气象卫星观测范围

2. 短周期重复观测

静止气象卫星具高度重复周期（半小时/次），部分地区由于轨道重叠甚至可以 5 分钟观测一次；极轨卫星 NOAA 等具中等重复周期，约 0.5—1 天/次。气象卫星时间分辨率高，有助于捕捉地面快速动态变化信息，如日变化频繁的大气海洋动力现象等，有利于高密度动态遥感研究。同时大大增强了获取无云影象的能力。

3. 成象面积大，有利于获得宏观同步信息，减少数据处理容量

气象卫星 AVHRR 扫描带宽约 2800 公里(陆地卫星 MSS 则 185 公里)。一幅 512 × 512 象元的影象，将覆盖 563 公里×563 公里(空间分辨率 1.1 公里)的区域(Landsat)同幅影象仅为 40.5 公里×40.5 公里)，则同等容量数据下，NOAA 卫星地面覆盖面积是 Landsat 的 194 倍。也就是说，AVHRR 512×512 子区影象范围，包括了十多幅陆地卫星整幅图象。由于陆地卫星的成象周期、成象范围和云量等因素的影响，这样大的范围内要取得陆地卫星准同步资料是很困难的，但 AVHRR 却可以轻易地得到完全同步、低云量或无云的影象。此外，同等覆盖范围下（相当于 MSS 185 公里×185 公里的象幅大小），AVHRR 数据量少，总象元数仅是 MSS 的 0.37%，有效地减少数据量，则在宏观遥感中，大大减少了数据处理和存储的工作量，从而能较经济地获得更为广泛的数据。

4. 气象卫星资料来源均匀、连续、实时性强、成本低

经过加工处理可绘制出各种高质量的等值线图如平均云量等值线图、海陆表面温度等值线图等，以进行专题分析研究。

5. 不受地理条件的限制

对南北半球、海洋、沙漠、极地以及受云覆盖的大范围空白区更显示出它的应用潜力。

6. *存在的问题*

由于空间分辨率低，边缘几何畸变严重，因而定位与配准精度不够。由于覆盖范围大，处理数据量大。尽管它有多个热红外通道，并有大气垂直探测器，利于进行大气校正，但大气校正问题仍较复杂。

（三）气象卫星获得的遥感资料

气象卫星所能得到的遥感资料大致包括以下五个方面：

1. *图象资料*

依据卫星传感器所选择的波段不同，可分为红外云图与可见光云图，白天与夜间图象。这是最常用的。

2. *数据资料*

气象卫星探测到的一系列气象及环境数据。主要包括云量、云分布、大气垂直温度、大气水汽含量、臭氧含量、云顶温度、海面温度、地面温度以及太阳的短波辐射（由地球-大气系统反射和散射回太空的太阳短波辐射），地球表面和大气系统放射的长波辐射等。

3. *加工处理后的派生资料*

根据以上两种资料间接推算出的气象要素和有用信息。如根据云的迁移计算出高低空的风场，根据云分布、云量及大气水汽含量计算出的降雨分布和强度，由海面温度分布推算出洋流速度、海冰覆盖范围的变化。此外陆地无云区的冰雪覆盖范围、土壤温度分布、土壤湿度等。

4. *空间环境监测资料*

如太阳质子、Y 射线和 x 射线的高能粒子流等高空大气物理参数。

5. *地面观测资料*

气象卫星兼有通信卫星的作用。利用气象卫星上数据收集系统（DCS）可以同时收集来自气球、飞机、船舶、海上飘浮站、无人气象站等的各种资料，并转发给地面专门的资料收集和处理中心。如在阿尔卑斯山区、美国的阿拉斯加地区、加拿大北部等有许多无人观测站，仪器自动采集的数据用微波通讯发射给气象卫星，瑞典海上船只连续观测的气象资料也通过气象卫星收集，再转发到统一的地面接收站。

可见气象卫星不仅能获得云图等图象资料，而且可以得到大量观测数据和有用信息，可以直接或间接地反映大气圈，以及水圈、岩石圈表面的各种自然要素的动态变化。所以，气象卫星无论在气象学、气候学本身以及其它环境科学中都有广泛应用。

（四）气象卫星的应用范围

1. *在天气分析和气象预报中的作用*

气象卫星资料促进了世界范围的大气、温度探测，使天气分析和气象预报工作更为

完全和准确。气象卫星云图上可以根据云的大小、亮度、边界形状、纹理、水平结构、垂直结构等，来识别各种云系的分布，从而推断出锋面、气旋（水平范围达数千公里）、台风（水平范围几百到上千公里）、冰雹、雷暴（水平范围几到几十公里）等的存在和位置，对这种大尺度和中小尺度的天气现象进行成功地定位、跟踪及预报（彩页1(a)）。不论天气形势是大是小，也不论这些现象出现在海洋上、高原上，还是广大沙漠地区都可以在气象云图上毫无遗漏地观测到。这是陆地卫星图象做不到的，也是过去地面气象站做不到的。这些作用可从以下四个类型方面加以说明：

（1）监测台风

西太平洋是世界三大台风源之一。我国是台风侵袭最多的国家之一。目前我国已形成了一套较完整的使用气象卫星图象资料来确定台风的位置、估计台风的强度、预报台风演变趋势的业务使用方法。用这种方法定位精度可小于100公里，若台风环流中心有明显的台风眼，则定位精度可提高到小于50公里，台风中心最大风力误差小于5米/秒，可见定位、定量精度均较高。这种利用气象卫星预报台风法及时、直观、经济、准确，现已作为一种常规业务进入生产服务阶段。

此外通过红外气象云图的亮度温度等值线图，可分析出气旋上空云的细微结构，对天气系统中的中、小尺度结构进行定量的分析，以提高台风定位精度及灾害性天气预报准确率，也利于进行降雨定量预报。

美国用于整个业务气象卫星系统的费用每年6000万美元，而由于台风监测成功减少的损失可达20亿美元。

（2）监视或短期预报灾害性天气

灾害性天气除台风外主要指强风暴、暴雨、冰雹、寒潮、雷暴以及由它们派生出的洪水、泥石流等。我国季风气候，每年除海上台风外，夏季灾害天气也很频繁。在美国危害最大的是暴雨和龙卷风，西欧是暴雨和暴风雪。世界各地气象背景条件不一样，所产生的具体灾害天气也不一样。

从气象角度看，它们的水平范围几到几百公里，整个天气演变过程一般不超过24小时，属于中小尺度天气系统活动的结果。这种中小天气系统单靠地面观测站不能解决问题，必须利用气象卫星的全覆盖才能得到资料。1982年6月长江中下游出现暴雨，为了确保武汉安全，曾考虑荆江分洪问题，但分洪区有300万亩麦，田间题很多。根据静止气象卫星云图分析的天气形势，认为二天内不至于继续涨水，长江上游的暴雨将停止，因而下决心不分洪。仅这一次就减少损失约7000万元。在我国的西南地区，预报暴雨便可以预报泥石流，而这些重大灾害性天气的预报和警报工作，气象卫星均能起很大作用。目前铁道部已把暴雨造成的泥石流的预报作为遥感的重点，现正投入力量在成昆、宝成线上建立数据库，进行铁路病害的研究、预报。

（3）其它的气象保证

通过气象云图可以知道云顶高度，确定高空急流位置及层云和雾区范围、消散程度，可以追踪云的移动，估算对流层上下层的风场等，从而确定高空湍流、雷雨云及摧毁性大风的位置，以确保陆上交通和航空、航海的安全。我国向南太平洋发射运载火箭，不

仅要知道发射场的天气形势，也要有南太平洋的气象保证，才能选择很好的着落区。卫星的回收、宇航飞机的着落均需天气保证。美国国防部的军用气象卫星系列计划（DMSP），把全球范围的专门资料与常规资料结合起来，已发展到作出全球三维的气象云图供指挥部门使用。

（4）大尺度的天气分析

天气预报是建立在流体力学和热力学的基础上。无论是经验预报还是数据预报，准确地掌握初始时刻的天气分析是预报成功的关键。但要做到这点是不容易的。因为整个地球约71%是海洋。那里没有固定测站，仅有少量浮标站，是观测数据最少的地方，所以对天气的初始形成不清。这里需要利用气象卫星云图上的大尺度云系特征和卫星测风资料作为进行天气分析的主要依据。目前由五颗静止气象卫星和两颗极轨气象卫星构成的全球气象卫星系统正在执行世界天气监视计划（W.W.W.）。这样便构成了对整个大气圈的立体观测系统。

日本的天气预报并非从日本近海开始分析，而是考虑到日本主要受南印度洋和西南太平洋天气系统的影响，发生一系列连琐反应的结果。因而日本天气预报中，进行了大气环流的云图演示。它们运用气象云图显示西南太平洋的气团如何随季风经过孟加拉湾，攀上西藏高原，西藏高原的云又如何顺副热带高压向东运动构成我国的雷雨，然后向日本移动，最后消失于阿留申群岛的全过程。并设计了专门的仪器，进行大气环流的云图演示，把这二个月的大气环流过程在2分钟内快速显示，从而逼真地反映了气团变化的全过程，它的运动速度和轨迹，有效地用于大尺度天气预报中。

此外，气象卫星观测还可纠正一些有关台风发生、发展等方面的错误概念。如影响美国的大西洋飓风发源地并不在大西洋，而可以追溯到非州，出现在我国南海地区的台风，部分也可以追溯到西太平洋地区。

2．应用于气候研究和气候变迁的研究

根据近年的研究表明，控制大气长期天气过程和气候变动的有以下几个因素：

（1）太阳活动

太阳是大气活动最根本的能源。气象卫星上有专门仪器观测太阳的辐射能量以及进入大气圈后的反射、散射情况。

（2）对于大气圈的下垫面——地表面对大气的影响。

①二氧化碳增加，使全球气候变暖；

②地球表面固体水的分布，特别是两极冰雪覆盖量的变化对海平面及大气温度的影响。

（3）海洋对大气的影响

在海洋与大气的耦合环流中，大气与海洋的能量交换，海洋温度场对大气形势起调节作用。

以上这些因素将引起整个地-气系统辐射信息的变化，而这方面的资料需要通过气象卫星来获得。气象卫星上有仪器可以直接取得二氧化碳等含量的数据（彩页3(a)）；冰雪覆盖也可以通过云图的辐射信息获得。此外为研究世界气候和灾害性天气变化，专

门设计了地球辐射收支试验装置(Earth Radiation Budget Experiment——ERBE)，用于测定整个地-气系统获得和损失的辐射能量。这对气候学研究将会有很大的推动。

3．气象卫星在其它环境科学中的应用

国外把气象卫星纳入环境卫星系列。气象卫星上所带的传感器，不仅对大气圈而且对地球表面进行探测，有时也对日地空间探测。所以气象卫星都是多用途的。它除了应用于气象、气候学外，还广泛用于环境科学的各个领域。

(1) 水文学方面

降水量是水文学研究中最重要参数，在防汛指挥和水利调度等方面也是不可少的指标。我国的气象、水利、农业部门均设有不少雨量站来测定降水量的大小。但是普遍存在河流下游多，上游和流域少，河谷中多，分水岭上少的现象。例如整个黄河70%的雨量站在龙阳以下，而源头很少。黄河三门峡以下到花园口一段约35000平方公里范围内所有雨量站均在河谷中。这种密度和分布上的不合理现象为降水量的计算、洪水径流量的估算等带来一定困难。在解决具体问题以及大型工程水文地质研究如筑坝、修铁路、隧道、架桥等时，便会感到雨量站、水文站是很有限的，远不能满足要求。这就必须依赖于气象卫星所提供的大气温度、湿度、降水量等资料的弥补。目前利用气象卫星云图来估计对流层降水的方法，国内尚未很好利用，国外虽被应用但精度还不够高。

冰雪融量的计算是水文学上的又一个大问题。雅砻江上游有7个径流电站，由于水源问题——上游冰雪融量问题尚未解决，它们只能发挥其30%的效益。气象卫星在冰雪融量的计算方面的应用是较成功的。科学院冰川所利用气象卫星云图来计算雪被覆盖的范围、厚度、冰雪融量，并追索其连续演变，进行祁连山冰川水文学的研究。这对北部地区春汛预报、干旱地区农业灌溉以及高山冰川研究都有帮助。美国在阿拉斯加、加利福尼亚东部雪山地区也一直进行着这方面的研究，苏联研究天山西段融雪量以解决中亚细亚的棉花灌溉，巴基斯坦利用之设计灌溉系统等。

气象卫星用于洪水预报是大有潜力的。黄河三门峡到郑州花园口段(三花间)，长约220公里。河床水面已高出两边地面5—17米，为典型的“地上河”。两岸建起了高高的黄河大堤，并需每年加堤、护堤，每10年加高2—3米，每加高1米得相应地加宽50米，国家每年用于修堤的费用约1—2亿元。堤内有120万人口和大量亩产800斤的肥沃农田，堤外有130万人口，下游洪水直接威胁到250万人民的生命财产安全。由于黄河泥沙含量大，黄河水头推移速度并不快，220公里的长度约需24小时，若能在24小时以前作出洪水预报，采取防洪措施，便可免遭一难。水利部门希望能有个遥感监测系统加信息系统来管理，并在北京的防汛指挥部有个实时显示系统。洪水预报从根本上讲是个洪峰实时监测、快速预报的问题。三门峡以上的黄河之水，已基本可以通过三门峡水库加以控制。下游的泛滥主要取决于山西的沁河和河南的伊洛河，其流域面积约3万平方公里。河口有个伊洛河夹滩(心滩)，河水在此形成漫流，水文条件复杂，给洪水预报带来困难，从而影响到整个下游地区。暴雨洪水时，多为云层覆盖，用遥感飞机监测有一定困难，用陆地卫星资料也因周期过长，云层覆盖而不可能。但是应用气象卫星加雷达网是完全可以监测的。在洪峰实时监测的前提下，才谈得上对洪峰流量的估算。这需要建立

估算模式和地面数据库，进而发展地理信息系统，以便对洪水预报问题迅速反映、及时提供决策方案、缩短决策周期。这是用传统方法无法实现的，而用地理信息系统（GIS）用计算机管理是可以做到的。黄河的冰凌现象也是可以用气象卫星监测的。黄河从兰州以下拐了个大弯，凡是由南向北流的河段均有冰凌现象（即融冰时，上游先解冻，下游后解冻，则水被冰坝堵塞造成泛滥），这对山东省损失很大。气象卫星上有雷达和红外波段对河道里的冰与水易于识别。气象卫星对冰凌的监测要比地面观测及时、可靠。只要解决冰层厚度再建立有关水量、冰量的估算模式，便可解决冰汛的预报问题。当然这些实用问题都要能保证用户获得高密度的气象卫星云图，并需增加气象云图的处理能力和运用信息复合法来寻求更有效的解决办法。

（2）海洋学方面

在海洋学方面运用气象卫星有着很宽广的领域。连续的气象卫星红外云图和可见光云图，可以从波谱和温度信息中区分出不同波谱、不同温度的水团、水流位置、范围、界线、运移情况并推算出其运移速度，从而了解水团、涡旋的分布、洋流的变动等。在航海事业中，了解洋流变动是十分重要的，它不仅能确保航海安全，还可以节省燃料。如哥伦布发现美洲，从西班牙开船，顺大西洋赤道洋流行进，不是在北美而是在中美古巴、海地一带登陆；返回时，则顺着墨西哥暖流向北从格陵兰东南绕过冰岛，由英国回来。解放后，我国第一艘万吨巨轮"跃进号"，满载玉米等货物，准备顺黑潮暖流绕琉球群岛西边去日本，但由于对洋流变动估计不足，船进入旋涡中，撞上暗礁，船体出事故。

海冰的研究是世界许多国家关注的问题。海冰的厚度，一般水上：水下为1:7。在海冰区航行，既使有破冰船也得尽量选择冰裂缝或薄弱地带。利用卫星云图实时选择航线是十分重要的。瑞典在北极圈内有基律纳（Kiruna）卫星地面接收站和一个大铁矿，需要有破冰1米的船只在冰缝中往返航行运送物资。它们便是用云图进行实时指挥并取得成效的。

从气象卫星红外云图上监测海冰和陆上冰雪区，一个突出的问题是正确而迅速地把冰雪与云层区分开来。由于气象卫星每天定时对地表上任何地点进行重复摄影或扫描，而云层是每天变化的，所以一般采用连续几天的图象进行对比来识别。在美国，这是用计算机来进行的。对于某个地区，根据连续几天的图象来制作每个地点在这几天内的最低亮度分布图（即把最高温度值选出来作图），由于同一地点连续数天有云的概率是很小的，从而大部分云层可以除去，图上的白色则大致为海冰或陆上冰雪区。但需要说明的是在结冰期、融冰期，海冰面与水面温度变化不大，在红外云图上往往冰水边界不清，这可以通过微波辐射图象加以弥补。

气象卫星云图观测海流是很有效的。其实质是研究海洋表面温度分布状况。利用（TIROS-N/NOAA）卫星改进型甚高分辨率辐射仪（AVHRR）的红外云图，加上水汽订正，可测海面温度绘制大范围的海面温度图，精度可达1℃。在NASA哥达德宇宙飞行中心是把AVHRR的各扫描模拟量用计算机获得的等效黑体温度（°K），根据各个温度（°K）画出等温线（℃），打印在麦卡托投影地图上，这种地图式温度图表称作为网络打印图。海面温度图对捕鱼、航海十分重要，对气象预报也必不可少，同时还能广

泛用于南、北极海冰地区。美国已专门发布这类图件并取得明显收益。这里同样存在着与云层区分的问题，即海洋表面温度与云顶低温区分开的问题。一般说来，它仍采用连续观测来消除云的因素。这种“时间云区排除法”在连续坏天气下则不能运用。美国还利用“空间云区排除法”即把一天的AVHRR数据统计处理成每个经纬度为1度。方格（每个方格内有25个数据），取方格中等效黑体温度（°K）的最大值来排除云区的此法仅根据一天的数据，便可得到水温分布图。但是，每1度方格内对应一个水温，水温分布被简单化，复杂曲折的海流及水团边界被平滑化，掩盖了细微变化。

我国在这些方面也做了一些实验性的研究工作。利用气象卫星红外云图对台湾岛附近亲潮寒流与黑潮暖流的季节性摆动和分流也获得初步成果。此外，通过对可见光云图绘制反照率等值线，从而分析海水悬浮泥沙含量及运动规律，对黄河入海泥沙的动态监测，杭州湾水文动态分析以及入海河流对海洋的污染、港口设计、近海养殖均有现实意义。

(3) 渔业方面

在海洋暖流一侧海水往上翻，寒流一侧则水向下沉，两股水流交接处海水温度变化大，上下水层垂直交换剧烈，营养物质丰富，有利于浮游生物繁殖，正是鱼群喜欢群居之地。而这个地区往往有温差，有泡沫带，有色调差异，形成“锋面”，云图上可以及时地辨别出其位置和摆动情况。这为渔场预报提供了有价值的信息。

70年代以来，卫星气象传真已在渔业中广泛应用。1973年美国利用气象卫星信息绘制了加利福尼亚南部海面温度图，根据不同鱼种需不同的海温生活环境的特点，从温度图上确定渔场和可能出现的鱼种，并实时发出渔情、海况预报，使当地渔民捕捞鲑鱼和金枪鱼缩短了50%的探鱼时间，增加捕鱼量25%。以后美、苏、日、法等国相继进行了各种渔业遥感的研究和试验，并建立服务机构，开展了海温、水色、渔场预报等服务项目。

我国利用气象卫星红外云图提供的海洋水温信息进行海洋水温速报研究，并通过假彩色密度分割等以及少量船测水温资料，绘制渤、黄、东海表面水温分布图，再根据大面积同步观测的海面水温分布和冷暖水系锋面及时空变化（即海面温度场分析），结合考虑渔类的洄游规律及生产现状，则可作出海况、渔况预报。1982年我国首次进行了渔业遥感海上试验，取得一定成效。

(4) 植物学方面

气象卫星增强显示的红外云图对温度的分辨率并不受海陆限制和高度的影响，因而也可以用于测定土壤表面温度，同时它提供高频率的重复覆盖，所以可以监测霜冻线的位置及活动情况。

“霜冻线”指一次寒流在地球表面的推移情况。我国南方有三股寒流：一是直接从海上来，经台湾到海南岛，因为海面磨擦系数最小，故来势猛；二是从华北起经山东、江浙到福建；三是沿青藏高原绕过秦岭到河南、湖南、湖北，经广西直到海南岛。寒潮所到之处便出现霜冻。这对我国的农业生产，对南方的橡胶业等危害严重。若能利用气象卫星与海洋卫星进行霜冻预报，研究霜冻的影响范围，可采取些局部预防措施或寻找对霜冻的“安全岛”，则将会有明显的经济效益。我国在这方面还研究得很不够，需要多做

些工作。

80年代以来，由于 TIROS-N/NOAA 气象卫星系列的 AVHRR 采用了对植物叶绿素的吸收峰和高反射峰反映尤为明显的 0.58—0.68 和 0.725—1.1 微米光谱段，从而使气象卫星遥感用于地表植被的研究有了很大发展。美国在进行世界性农业状况估价以及大面积作物估产中大量运用 NOAA/AVHRR 数据提供的雨量、温度、湿度数据以及土壤表面温度等植物遥感方面的辅助信息源。美国西南部帝国谷使用 NOAA 6 多时相数据产生归一化绿波指数的 64 级彩色编码图，可快速进行土地分类，区分出盐碱、荒漠、沙漠、灌木、草场、森林（稀、中、密）及耕作地。美国还利用4公里分辨率的全球覆盖数据（GAC）绘制每周的全球或洲际范围植被指数图，进行植被动态分析和农业环境的动态监测(彩页 2 (a))。联合国粮农组织(FAO)运用 NOAA 卫星对塞内加尔、毛里塔尼亚进行了雨季植被评价，这是用陆地卫星资料所无法做到的。由此可见，对于大、中尺度的植物遥感，NOAA/AVHRR是一个很有价值和潜力的遥感信息源。这部分内容将在“植物宏观研究”中专门论述。

(5) 环境监测方面

气象卫星用于环境监测方面是有效的，主要有森林火灾、尘暴、水污染等的监测。TIROS-N 红外云图对高温热源很敏感，出现白色热点。森林火灾往往范围大。气象卫星提供的资料不仅可以了解林火位置、范围，估计损失的材积量，而且可以根据火灾区风向、温度、降水等条件来预报火势发展及何处熄灭，还能对林火的烟尘扩散污染范围等作出判断。尘暴的危害也是大范围的。尘暴来临一般至少 1—2 天也可通过气象卫星监测出来，利用大气气溶胶计数器也可直接读数。Nimbus 气象卫星带有海洋带彩色扫描仪对水面水质变化、水的热污染等均能监测。

(6) 发现热点

气象卫星上的红外仪器可以发现热点。这些热点若进一步确定了位置，则在军事上可以监测新居民点、导弹基地、森林中开辟的军事基地等，在民用上可以监测林火等。

(7) 对日地空间环境监测

通过对太阳质子、高能粒子流等观测资料的分析，可以监测太阳活动、太阳风的强度以及太阳日地空间磁场的强度、方向。这些影响到无线电通讯、空间飞行以及其它空间活动。事实上，有一些气象卫星的设计是兼有陆地卫星和天文卫星的作用，所以携带的仪器有的是针对日地空间的，如空间环境监测器（SEM）等。

综上所述，气象卫星的应用范围是很广的，在地学分析中对大气、水、生物圈均有一定作用。目前我国对气象卫星的接收设备、处理能力、软件系统都是完备的，但多用于气象、气候方面，而在地学其它方面的应用尚不够。

(五) TIROS—N/GMS卫星数据接收处理系统*

国家气象局卫星气象中心从美国引进一套 TIROS-N/GMS 气象卫星地面站接收处

---

* 国家气象局卫星中心，TIROS-N/GMS卫星数据接收处理系统。

理系统（简称MSGS）。通过这个系统可以实时接收，实时与延时处理美国TIROS-N/NOAA系列和日本GMS静止气象卫星的各种图象和数据（HRPT数据），输出多种形式的产品。

整个系统可分为天线接收与数据处理两部分。天线接收部分包括天线、接收机、模拟磁带机、激光传真机等。其任务是接收、记录与回收信号并在激光传真机上出图。数据处理系统包括计算机、图象处理机及各种外部设备。其任务是对数据进行分离及处理，处理后的图象可显示在监视器上并在激光传真机上出图，也可通过扫描变换器输出低速率传真图象。处理过的数据还记录在计算机兼容磁带（CCT磁带）上供用户使用与作进一步处理。

数据处理功能主要有以下三方面：

（1）实时处理

包括轨道预测、实时接收并处理卫星发回的数据（处理有原始数据记入磁盘，数据分离、地理定位、定标、质量检验等），处理后的数据在M-70上实时显示，程序跟踪，从模拟磁带机上回放记录的原始数据以作备用。

（2）数据转换

把实时接收的原始数据转换成依照美国NESS的IB格式、形成IB数据集，存入磁盘或CCT磁带，以备处理；转换生成了亮度—辐射温度、亮度—反照率查阅表等文件，供图象处理时使用。

（3）数据分析及图象处理

包括回放与区域选择（可通过光标任意选择分为全分辨率、1/2、1/4或1/5分辨率几种），加注释（其字符及颜色自定），加网格地图即经地理定位后的图象可叠加上经纬网格地图，还可进行地理定位校正、投影变换（可得等矩形、麦卡托、密勒、心射等四种投影）、动态灰度增加、假彩色显示、计算直方图及均衡直方图，画等值线、横向廓线，放大（可放大2、4、8倍）、分裂屏（即监视器上同时出现两幅图），环形胶卷（动画图象）可连续显示同一地区不同时间的一连串图象（12幅循环），以及做图象平滑（以消除噪声）、图象算术运算，输出硬拷贝等。

二、海洋卫星系列的地学评价

从60年代气象卫星系列陆续上天后，除了获得大量气象、气候学信息外，还同时提供了大量海洋信息，特别是海面温度、海流运动、海冰、海水混浊度等信息。这引起了海洋学界的极大兴趣。海洋遥感便逐步发展起来，并被普遍认为它对海洋学研究是卓有成效的。

1978年6月26日，美国发射了世界第一颗海洋卫星Seasat 1。这颗卫星因电源系统发生故障仅工作了105天（故又称为百日卫星）。这颗实验性卫星寿命很短，作为空间技术可以说是不成功的，但是在遥感方面却是成功的，达到了预期目的。它开创了海洋遥感——微波遥感的新阶段，为观察海况，研究海面形态、海面温度、海面风场、海冰、大气水含量等开辟了新途径。美国国家宇航局（NASA）认为Seasat 1有利于他们获得

全球环境的新知识，有利于空间科学技术的新应用，有利于和平事业和科学事业，国家海洋大气局（NOAA）认为对他们的渔业管理、海岸带管理、海图测绘和气象预报等四项任务具有重大意义；美国海军认为Seasat 1取得的资料基本满足了海军水上舰艇、潜艇和飞机等装备军事活动对全球性准确海洋预报的需要。正因为它在军事、科研、经济等方面的重要性，三方共同提出了一个带有研究探索性质的实用性业务计划——国家海洋卫星系统（1981—1991年）。此计划正处于研究阶段。在本节海洋卫星系列中将作进一步介绍。

（一）海洋及海洋遥感的特点

研究全球环境，脱离了占71%的海洋不行，海洋又是人类尚未开发的处女地，因而海洋遥感具有深远意义。海洋主要是由不断运动着的海水组成。大片的海水构成了一个庞大、完整的动力系统，并有相当的深度。海洋现象具有范围广、幅度大，变化速度快的特点。常规的海上调查是通过穿航线、取样等来完成的。海洋如此辽阔，海洋实地调查无论规模、范围、频度均受到限制。它除了对海上航线及附近地区进行观测外，对其它大部分水域是无能为力的。而海洋遥感却是个最重要的探测手段。

从海洋光学的角度看，给海面辐射的光源有太阳直射光和天空漫射光。它们照射海面后约3.5%被海面直接反射回空中，为海面反射光。它的强度与海面性质有关（如海冰、海面粗糙度等）。其余的光则透射到海中，大部分被海水所吸收，部分被海水中的悬浮粒所散射产生水中散射光，它与海水的混浊度相关。衰减后的水中散射光部分到达海底形成海底反射光。水中反射光的向上部分以及浅海条件下的海底反射光，组成水中光。水中光、海面反射光、天空反射光以及大气散射光共同被空中探测器所接收。其中前两者内包含有水中信息，因而可以通过高空探测水中光和海面光以获得关于浮游生物、浊水污水等的质量和数量信息，以及海面性质的有关信息（图1-21）。

此外，海水对不同电磁波谱段有不同的透明度，即光对海水的穿透能力受海水混浊度的影响很大。图1-22表示光对不同混浊度海水的穿透能力。图中可见水体对0.45—0.55微米波长的光的散射最弱，衰减系数最小，穿透能力最强。随着水的混浊度增大，衰减系数增大，穿透能力减弱，最大穿透深度的光段也由蓝变绿，所以海水颜色随其混浊度强大而由蓝—绿—黄逐渐过渡。

尽管海水由于叶绿素、浑浊度或表面形态不一而具有不同的波谱特征，而且不同波谱段对海水有不同的穿透力，同一波谱段对不同类型的海水有不同的穿透力，但是，海洋的光谱特征差异与陆上地表物体相比要小得多，因而所成的图象反差很低。另外，海洋信息的获取还受到海洋环境的各种干扰因素的影响，如不同太阳入射角、不同观察高度、不同气候条件（云层影响）、不同海面条件（海面粗糙度、波浪及传播方向）、不同底质条件以及水体本身不同的生物、化学、物理因素等。因而，对于海洋遥感来说，除了采用可见光、红外光段外，必须开辟新的电磁波谱段——微波等。

海洋微波辐射取决于两个主要因素。一是海面及一定深度下的复介电常数ε。它是由表层物质组成及所处热力学温度决定的。海水虽成分复杂（有各种盐类、有机质、悬

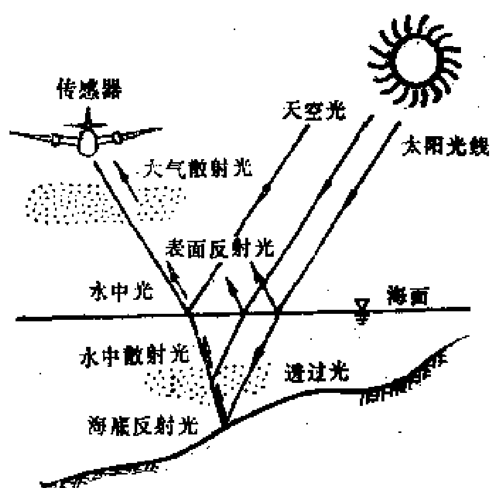


图 1-21　射入海上传感器的光

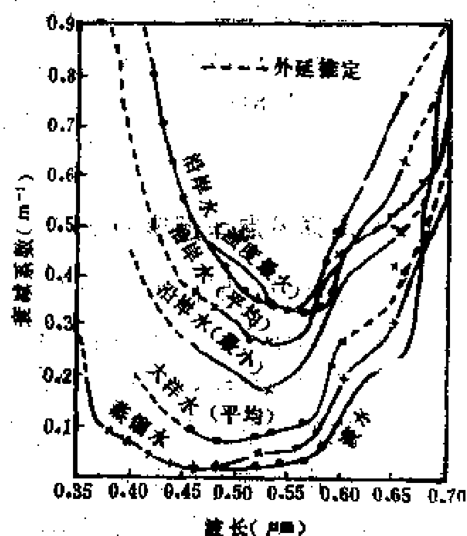


图 1-22　水的分光衰减特性

浮粒等)，但从微波辐射角度，则可以看成是含有 NaCl 等盐类的导电溶液。其介电常数是海水温度、盐度的函数。因而海洋微波遥感可测得海面温度和含盐度。二是海面至一定深度内的几何形状结构，即海面粗糙度。从这个角度可将海面分为：

平静海面——海面无风或风速很小，可用物理光学理论处理。

风浪海面——海面有风浪而成为一个随机起伏的粗糙面。此时电磁波在界面上产生复杂多变的多次反射和散射。大风浪在海面还形成白泡沫带（含大量气泡和水滴），因而粗糙海面与平静海面的辐射亮度温度具有明显差异。通过建立辐射亮度温度与海浪谱、海面风速的关系以测定之。

污染海面——一般指石油污染等形成的两层介质。它引起亮度温度的显著差异。

冻结海面——海面有海冰、冰山等。由于冰雪介电常数较水体小，比辐射率大很多，因而可以根据亮度温度反差来确定海冰的位置、范围、结构、含水量、类型、质量和冰龄。

微波具有一定的云层穿透能力。对于云层它比可见光、热红外光段的能量衰减要小得多。

针对上述海洋特点，海洋遥感也需要有它自己独特的研究手段和传感器。归纳起来海洋遥感具备以下特点：

（1）要有高空和宇宙空间的遥感平台，以进行大面积的同步覆盖。

（2）以微波为主。微波可以在各种天气条件下，透过云层获取全天候、全天时的

世界海洋信息。此外，海洋微波信息中包含有大量海面温度、海水含盐度以及海面形态结构等信息。

（3）电磁波与激光、声波的结合是扩大海洋遥感深度的一条新路。遥感不能仅局限于海的表面，而要有一定的深度。海洋遥感从可见光到红外到微波虽都被利用，但仍局限于海表面很薄的一层。利用激光，遥感水层的深度有了扩大。而利用声波遥感则可以克服深度上的局限性，将遥感技术应用范围延伸到海底。

（4）海洋遥感要有其它海洋调查手段和海面实测资料（海洋调查船、浮标、潜水器等海洋常规调查）作参考，方能有效地发挥作用。

（二）海洋卫星系列

1．Seasat 1

发射于1978年6月26日—10月10日。为近极地太阳同步近圆形轨道。轨道高度790公里，轨道倾角108°。卫星能覆盖全球95%的地区，即南北纬72°之间地区。每绕地球一圈约需100分钟。一次扫描覆盖海面宽度为1900公里。卫星上载有5种传感器，其中4个为微波传感器。

（1）雷达高度计——ALT，为不成象主动式微波传感器。工作频率为13.5吉赫(GHz)，即2.22厘米波长(Ku波段)，海面分辨率约10公里。它主要用于测高，即测卫星到星下点（范围约10公里）海面的垂直距离，测高精度为±10厘米，测海面波高、海面起伏、陆冰高度和边界；还可测量海面波度，从而确定沿航天器轨道下流动的地转流流速（如湾流、潮流、涡旋和洋流等，精度达20厘米/秒）、海面风速等。以便进行海流和风暴潮的分析和海况分析预报。

（2）雷达散射计——SASS，为不成象的主动式微波传感器。工作频率为14.6吉赫，即2.05厘米波长（Ku波段）。海面分辨率约50公里，覆盖宽度约1500公里。每个地面点从两个角度进行观测，以估测海面风应力的大小和方向。风速是根据风生成的浪和粗糙海面对雷达信号的反射来估算的。测定的风速误差为±2米/秒，风向误差为±20°。

（3）合成孔径侧视雷达——SAR-A。工作频率为1.27吉赫，相当于21厘米波长（L波段）。极化方式为HH，即水平发射、水平接收。空间分辨率达25米，扫描宽度100公里。图象效果很好，可以测定海面波浪的波长、波向、表面风速以及大规模海洋地形、海洋动力学方面的资料，可用于海岸带和海冰等相对静止目标的监测与制图，也可用于测定海面结构（长波长、重力波、风场）测定船位、航向、航速等，以及观测大、中尺度的海洋动力现象（洋流、涡旋、内波等）。同时还能获得少量陆地图象，对线性形迹、地面粗糙度等提供重要情报。

（4）多通道微波扫描辐射计——SMMR，为一种成象被动式微波遥感仪器。共有5个通道，其中毫米波段1个(波长8.11毫米)，厘米波段4个(波长分别为1.43、1.67、2.81、4.54厘米)。空间分辨率为22—100公里，扫描带宽度600公里。辐射分辨率达零点几摄氏度。在有云条件下，测温精度为±2°K。测风精度为±2米/秒。根据测量天线的

亮度温度可以测定接收辐射的数量，并通过对比分析获得海面温度、海面风速、冰况、泡沫区范围以及大气水汽量。

（5）可见光—红外辐射计——VIR。可获取可见光和红外影象，以识别云、主要水团以及陆上特征。其可见光段波长0.52—0.73微米，穿透力强，热红外段波长为10.5—12.5微米，测海面、海冰温度及温度梯度。空间分辨率2—5公里，扫描宽度1900公里。

2. "雨云"7号卫星——Nimbus 7

于1978年10月24日发射。为太阳同步极地轨道，轨道高度955公里，倾角99.28°。此卫星似Seasat 1的姊妹星，虽为气象卫星，但除监测大气外同时带有专测海洋信息的传感器，故成为海洋研究的重要信息源。它共载有8种传感器，其中也有多通道微波辐射扫描仪（SMMR）。此外还首次带有一个海岸带水色扫描仪（CZCS），是把水温和水色结合起来的成象装置，有6个通道（0.44、0.52、0.55、0.67、0.75、10.5—12.5微米）。空间分辨率800米，覆盖范围1200公里。用于测量作为浮游生物分布指标的叶绿素浓度、作为沉积物分布指标的海水混浊度，以及作为盐度指标的黄质浓度，还可用红外波段观测海面温度，用色差测水深等。它同时还具有多光谱遥感图象的功能，可用于海冰观测、沿岸与河口泥沙运移分析、海面温度场制图，以及大尺度海洋观测。

3. 苏联的海洋卫星

其主要任务为考察世界各大洋。有"宇宙243"(1968)，载有四波段微波辐射计，用于海面温度和风浪遥感;"宇宙1076"(1979)为苏联第一颗海洋卫星;"宇宙1151"(1980)；"国际宇宙-20、21"(1981)是与东欧合作研制的两颗海洋监测卫星。

4. 美国的国家海洋卫星系统

预计1989年第三季度利用航天飞机发射第一颗新型的国家海洋卫星（NROSS），计划带5种传感器，均在Seasat基础上有提高。第二颗将在第一颗发射后的半年到一年内发射，以实现对全球海域的覆盖。计划采用近极地太阳同步轨道，轨道高度700公里，轨道倾角97-99°，比Seasat-1要低，以利于CZCS的工作和保证较好的冰情覆盖面积。全部数据由TDRS系统传输。计划带有5种传感器有海岸带水色扫描仪（CZCS/2），从原来的6通道增至9通道；大天线多通道微波辐射计（LAMMR）为SMMR的改进型，天线直径由0.8米增至4米，波段数由5个增至7个；雷达散射计（SCATT)；雷达高度计两个，地面分辨率10公里；可见光—红外仪器。这些遥感仪器将为天气预报、气候研究、海冰、海浪、海风、海温、海面起伏、叶绿素含量等以及海洋声传播预报提供近实时的海洋资料。

5. 日本海洋观测卫星——MOS 1

于1987年2月9日发射，与太阳同步，轨道高度909公里，倾角99.1°，重复周期17天。其目的是获取陆架浅海区的海洋数据以便为海洋生物资源开发、海洋环境保护提供海洋学方面的资料，也能为陆地提供有用信息。将载有2台使用CCD相机的可见光—近红外辐射计（MESSR），又称多谱段电子自扫描辐射计，有4个通道，分别为0.51—0.59，0.61—0.69，0.72—0.80，0.80—1.1微米。海面分辨率为50米，扫描带宽100公里或185公里。主要用于观察海面污染、海水水色、浮游生物群等。可见光—热红外辐

射计（VTIR）采用机械扫描方式，扫描带宽1500公里，有4个通道，可见光段波长为0.5—0.7微米，海面分辨率900米；热红外波段波长为6—7，10.5—11.5，11.5—12.5微米，海面分辨率为2700米。主要用于探测海面温度分布、云和水汽分布等。微波扫描辐射计（MSR），用于监视大气中的水汽及海冰、流冰分布。数据传输采用X波段和S波段。此卫星对我国的作用较大。MOS 2除载有可见—热红外辐射计和微波辐射计外，还将装备高度计、散射计，可测量海浪高度、海流和风的状态。

6．欧空局的地球资源卫星——ERS-1

计划1990年用阿丽安娜（ARIANE）火箭发射。寿命3年。为圆形太阳同步极地轨道，轨道高度675公里。重复周期3天，使用了类似法国SPOT卫星的结构。除合成孔径雷达数据实时传输外，一般数据都记录在卫星上。主要传感器为C波段主动微波仪器（AMI）。它综合了合成孔径雷达、波浪散射计和风散射计的功能，雷达影象的地面分辨率为30米或100米，覆盖宽度100公里，可提供海洋、近海水域、极地冰区和部分陆地的全天候图象，并能测量风场和波浪谱等。海洋水色监视仪（OCM），与海岸带水色扫描仪CZCS相似，但增至9个波段。星上还装有雷达高度计（RA）等。

7．加拿大雷达卫星——Radarsat

将载有合成孔径雷达（分辨率25米）、多光谱扫描仪等，能及时获得极地海区航行所需的海冰信息，同时也能提供近海以及陆地信息。

海洋遥感方面，除采用了上述各种雷达外，海洋动力雷达和激光雷达将是很有前途的。此类传感器正在研制中。

海洋动力雷达——CODAR，是美国NOAA研制的一种测近岸表层流的轻便设备，工作频率25.6兆赫，仅用一套雷达装置便可获得距岸60公里海区的表层流资料。目前正用两套雷达装置放于相距40公里的岸边进行测量，流速测量精度可达10厘米/秒。

激光雷达，是一种以激光器作辐射源的雷达型遥感设备。可遥感水深、叶绿素、水温、盐度等要素。深度测量范围一般可达6—10波束衰减长度，夜晚可达15个衰减长度，精度为4—10厘米，可达实用阶段。叶绿素测量范围为2—20微克/升，最小灵敏度约0.5微克/升。

此外声波遥感可使遥感水深从海表面薄层扩大到海底，但设备庞大，投资颇巨，仅能用于局部海区。

（三）海洋卫星系列的应用

海洋卫星系列可以提供大量信息，但因海洋卫星所获取的资料许多未被公开，我们真正可以得到的信息尚有限。这也就在一定程度上限制了它的应用。对于它的应用领域的研究，目前还处于试验阶段。但是，对海洋的开发利用，已是世界十分关注的问题，这将推动着海洋遥感的迅猛发展。下面举几方面的例子说明。

1．海面温度和水色的研究

利用微波和红外影象的色调差异，可绘制等温线图，以示海面温度分布状况。由于水对红外波段吸收很大，故红外测水温只能测得水面下表皮层0.03毫米厚度的温度。水

对微波区的电磁波的吸收比对红外区要小得多，因而微波测水温一般可得水面及水面以下约1毫米深度的水温。运用海洋卫星的多通道微波扫描辐射计（SMMR）测量表面温度的灵敏度，其均方根误差可达1.2℃或更好点，已绘制出整个太平洋海洋表层水温的第一张微波图。利用红外和微波辐射计测量结果，通过计算机绘制出全球大洋表面温度图，精度达1℃。

水色主要决定于营养盐（黄质浓度）、浮游生物（叶绿素浓度）、沉积物含量（海水混浊度）、污染物及底形和水深等因素。其中海水含盐度的差异，决定了其介电常数的不同，因而可从微波影象的亮度温度的差异中得以测定。而叶绿素含量被认为是了解世界海洋中生物循环的基础，是估算海洋生产力的基本指标，卫星可以提供浮游生物富集的分布状况（彩页2（b））。“雨云”7号卫星上的CZCS能够将水色图与水温图结合起来研究海洋中物理因素和生物过程对浮游生物生态的影响。水温、水色与海洋渔业、海洋污染直接相关。捕鱼中水色是最常见的指标之一，不同水团间往往有较清晰的锋面，其位置变化不定，船难以监测，然而由于锋面附近水色、水温的变化，CZCS便能对它进行有效的研究。美国曾用CZCS可见光图象成功地监测加利福尼亚中部外海水色趋势及金枪鱼的捕捞位置。

此外，海洋卫星的热红外与X微波段是测热污染、油污染的得力工具。微波雷达效果更佳，因为被油膜污染的海面其辐射亮度温度比非污染的海面要高易于识别。

2．海面形态及大地水准面的测量

海面大地水准面是指在仅有重力和旋转力的作用下，一个不运动的均匀的大洋所具有的表面。由于地球重力场不均匀，大地水准面并非规则的球面，而是有起伏的不规则的曲面。对它的研究在大地测量、天体测量等方面均有重要意义。海面起伏形态同时又受到地转流（洋流、旋涡等）潮流、风暴潮、增水和波浪作用的影响，因而使海面偏离了水准面。

海洋卫星的雷达高度计（ALT）可测得卫星在海洋上空的高度，精度达±10厘米。测得的海面起伏形态与大地水准面有关，因而可以通过对重力和卫星轨道的精确测量，获得海面形态参数，并进而消除波浪等干扰因素而测得海面大地水准面。美国用ALT在三个月内所获得的数百万个数据绘制世界各大洋的海面起伏形态图，图上说明海面形态是起伏很大的。马里亚纳海沟可以产生－60米的变化，而海底山可以造成＋5米的变化。海面起伏形态与地球重力场、海底地形及岩性成分等有关。海面起伏变化还与海流直接相关。不同时期海面起伏形态图叠加，便可得到全球海流分布图。

3．洋流

由于风应力以及海洋温度、盐度分布不均匀，在海洋中往往形成一些质量和流速、表面形态都不一致的水团和水流，称之为洋流。在洋流的边界处，由于切力不同，水流运动状况不同，使它表面比周围海面稍高。即大尺度的海流会造成海水的堆积或减压，出现增水、减水现象，并在其边缘形成叶绿素堆积带和泡沫带，从而导致水温、水色或光谱反射率以及海面形态的变化，其变化程度取决于海流的强弱。因而，可以在海洋卫星图象中识别并确定洋流边界、涡旋及其运动状况。此外，ALT可测定海面坡度从而确

定地转流速。这为寻找锋面渔场，为航海等均提供了可靠信息。

4．浅海水深测定

微波本身对水体并无穿透能力，水也不传导微波。运用海洋卫星合成孔径雷达（SAR）测水深是建立在对测大陆架浅海带重力波的折射现象的分析上。SAR对水体表面的波浪状况的测量有很好的效果，而重力波的状况（波形、波长、波高等）和水深有着密切的关系。因此可以通过对重力波的分析来获得水下地形状况，进行浅海制图。美国、加拿大正在做这方面工作以研究浅海带的水深。其中的关键问题是如何对重力波进行几何校正。

5．海冰

海冰具有复杂的物理结构。由于微波对冰具穿透能力，则其内部结构对微波辐射特征产生影响。又由于冰雪介电常数较水体小，微波资料反映的亮度温度的差异不仅能识别出海冰、冰山的分布状态，而且能判断出冰的结构、类型、含水量等，甚至可判断出冰龄。

6．海面风场

海面风场（彩页1（b））是海洋动力之一，是产生海流、波浪的基础。同时，它关系到海气间的热交换，因此海面风场又是了解气候的重要因素。海洋卫星Seasat的雷达散射计（SASS）测风场是通过微波测风生成的浪及粗糙海面来推知海面风速（精度为±2米/秒）、风向（精度为±20°），从而可以得到全球海面风场图。

参考文献

〔1〕R.N.Colwell et al., Manual of Remote Sensing, American Society of Photogrammetry, 1983

〔2〕卡农公司图象研究室：遥感——遥感技术的发展及其应用研究，科学出版社，1983年

〔3〕L.P.White, Aerial Photography and Remote Sensing for Soil Survey, Clarendon Press. Oxford, 1977，遥感技术在土壤和水资源研究中的应用，科学出版社，1981年

〔4〕A.Schnapf, The Development of the TIROS Global Environmental Satellite System, *20th Aerospace Sciences Conference AIAA*(1982) *from N*82—24781 "*Meteorological Satellites: Past Present and future*"

〔5〕Schwalb A., The TIROS-N/NOAA$_{A-G}$ Satellite Series, *NOAA Technical Memorandum*, NESS95, 1978

〔6〕S.R.Schneider et al, Use of NOAA/AVHRR Visible and Near-Infrared Data for Land Remote Sensing, *NOAA Technical Report*, NESS 84, 1981

〔7〕J.Baker, K.W.Ruggles, Sgstem concept for Wide-field-of-View Observation of Ocean Phenomena from Space, *NASA Sarth Science and*

Application Division, Washington, D.C.20546, 1987
〔8〕W.J.Hussey，国家海洋卫星系统，《海洋译丛》，第4期，1982年
〔9〕R.H.Stewat，卫星海洋学：海洋遥感仪器，《海洋译丛》，第2期，1983年
〔10〕R.霍弗，E.G.尼乔库等：海洋卫星对海洋表层温度的微波辐射测量：初步成果，《海洋译丛》·第6期，1982年

第四节　航天飞机、火箭、气球遥感的地学评价

一、航天飞机遥感地学评价

（一）航天飞机的特点

航天飞机（Space Shuttle）是美国国家宇航局(NASA)80年代的空间飞行计划。从1971年开始，动员了47个州的工业和技术力量，花了约90亿美元的资金，经过10年的努力研制成功。航天飞机的研制成功标志着美国空间遥感发展到一个新阶段。

航天飞机既可象火箭一样垂直发射，作为空间运载工具运送、回收、修理轨道卫星和星际探测器等；又可象卫星一样进入轨道运行，并带有一定的遥感仪器作为空间观察站直接进行遥感多学科研究；还可象飞机一样返回地面，回收设备，多次重复使用。它是载入宇宙飞船、运载火箭及航空技术综合发展的产物。是一种兼有航天与航空飞行能力的有人驾驶的空间飞行器。在轨道上停留一般7天，最长可达30天。它是一个灵活、经济、有效、很有潜力的遥感工作平台。它所获得的资料已在地球资源、环境研究、军事应用等方面发挥作用。

航天飞机由轨道飞行器，两枚火箭助推器和一个外挂燃烧箱组成。轨道飞行器形状象一架三角翼飞机，其前舱为成员舱是控制和操纵航天飞机的中枢部分；中舱为货舱，容量很大，有效载荷29.5吨，并有遥控机械手；后舱装有发动机等。

（二）航天飞机的主要传感器

美国宇航局第一批生产的航天飞机共5架。它们分别为“创业号”、“哥伦比亚号”、“挑战者号”、“发现号”和“大西洋号”。为了说明航天飞机在遥感地学分析中的作用，这里着重介绍一下“哥伦比亚号”航天飞机的工作情况和几个重要的传感器。

1981年4月12日“哥伦比亚号”航天飞机从卡纳维拉尔角发射成功，绕地球36周，飞行了54.5小时，于14日13点21分在美国加利福尼亚州爱德华兹空军基地安全着陆，圆满地完成了第一次试飞任务。半年多后，于1981年11年12日至14日进行第二次试飞，首次携带正式有效载荷——OSTA 1地球观察仪。它包括5种传感器，我们着重讨论航天飞机成象雷达（SIR-A）

1．航天飞机成象雷达——SIR-A

SIR-A与海洋卫星的SAR-A很相似。它们均为合成孔径侧视雷达，采用L波段（波

长相当于21—23.5厘米)，极化方式均为HH，水平发射、水平接收。此外，SIR-A轨道高度为245—259公里（SAR-A为790公里)；电磁波波束的入射角可达50°(SAR-A约为20°)；地面探测幅宽50公里(SAR-A为100公里)；覆盖范围在41°N—35°S之间（SAR为南北纬72°之间，占全球面积的95%)。SIR-A获得约1千万平方公里范围的图象，其中两个成象带穿过我国华北地区中部、甘肃北山一带以及新疆中部等地区，两带相交其成象宽度可达80公里左右，图象比例尺约1：50万。图象空间分辨率为40米（SAR-A为25米)。

所谓合成孔径成象雷达，不仅是不依靠日光，只利用自身发射的电磁波并收录回波(属主动遥感)，而且所记录的不是回波的振幅，是一种干扰图象。即发射的波束从开始碰到目标时起到脱离目标止，把所有这些回波均存贮起来合成目标的图象，故称之为全息记录或全息图象。也就是说，它利用反射回波的时间延迟和多普勒变化，产生高分辨率的地表图象（图 1-23)。

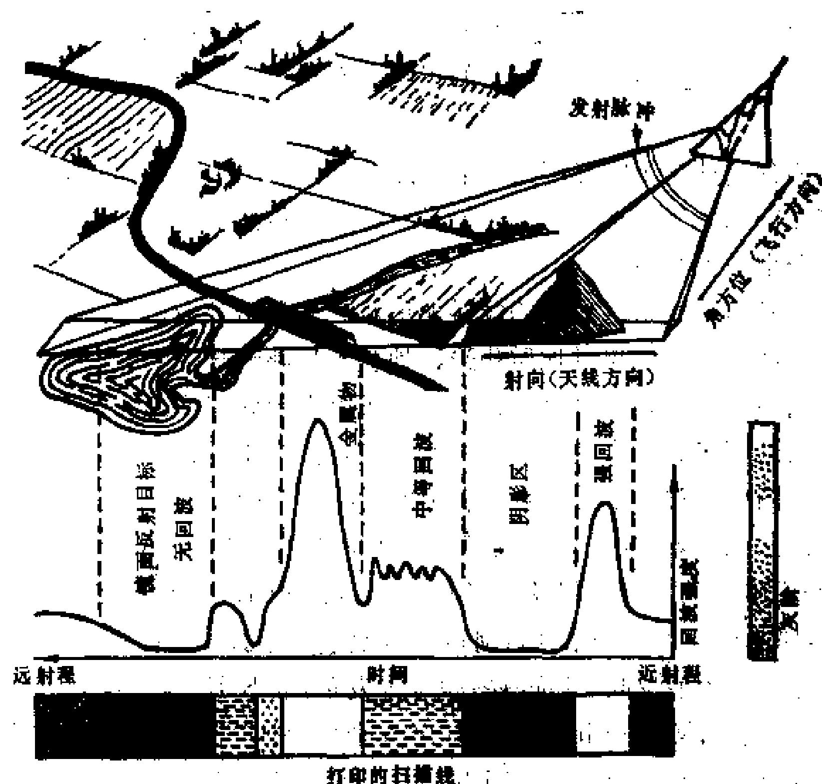


图 1-23 侧视雷达成象

这种图象是在获取大量反射回波信息的基础上形成的，并被记录在图象胶片上直接成象。它是地表散射的一种二维显示，随地表的物理特征(坡度、表面粗糙度和介电常数等）而变化。这就是说，雷达回波强度即图象上各种地物的灰度，受入射波的俯角、频率、极化方式等参数以及地表物理特征的影响。在雷达系统参数不变的情况下（如SAR、SIR)，图象灰度仅依地物的物理参数而定。若介电常数ε越大，雷达回波强度越大，图象上色调越浅；坡度影响入射角，一般入射角α越大，雷达回波强度越小；粗糙度对

雷达回波有明显反映。平滑表面反射全部入射能量，反射角等于入射角，方向相反，形成镜面反射，雷达天线几乎不接收回波，图象色调暗；粗糙表面产生各方向的散射（漫散射），雷达回波强度增大，图象色调较浅。粗糙度表示辐射区域的散射程度。它是一个相对值，与入射波的波长以及天线的俯角有关。美国皮克（Peak）和奥立佛(Oliver)（1971）对瑞利准则进行了修改，提出一个判断表面平滑和粗糙程度的判别式：

$$h \leqslant \frac{\lambda}{25 \sin\alpha} \quad \text{为平滑表面}$$

$$h \geqslant \frac{\lambda}{4.4 \sin\alpha} \quad \text{为粗糙表面}$$

$$\frac{\lambda}{25 \sin\alpha} \leqslant h \leqslant \frac{\lambda}{4.4 \sin\alpha} \quad \text{为中间表面或中等粗糙表面}$$

式中，h 为表面粗糙度；λ 为入射波的波长；α 为天线俯角。

对于 SIR、SAR 的 L 波段雷达来说，则 $h \leqslant 1.46$ 厘米为平滑表面，$h \geqslant 8.3$ 厘米为粗糙表面，1.46 厘米 $\leqslant h \leqslant 8.3$ 厘米为中等粗糙表面。由此可见，粗糙面主要受地表物质微起伏（表面结构形迹以及植被覆盖层）的影响，而与地形起伏属两个不同尺度，两个不同概念。

雷达遥感的合理性在于它与阳光的照射无关，可以全天候工作，同时，它与传感器和被探测物体之间的大气情况无关。也就是说，它与传感器和地面间的距离完全无关。这种特性对于获取数据是有利的。

雷达散射以及雷达波束对地[illegible]的倾斜照射，产生明暗效应、雷达阴影等，有明显的地形起伏感。因而，雷达图象对地质构造、地[illegible]等反映清晰。

雷达有一定穿深能力，可以穿透云盖区，可以全天候工作。同时，它可穿透稠密的植物覆盖以及地表几厘米到几米的第四纪松散沉积物。由于雷达后向散射与土壤水分密切相关，因而雷达图象上对土壤水分和地表湿度反映尤为明显。美国曾用航天飞机成象雷达 SIR-A 在干旱地区找沙层下的古河道（彩页 8 (a)）。SIR-A 穿透沙漠的沙层、流沙和沙丘，分别在撒哈拉大沙漠东部及北部利比亚 hyperarid 地区以及埃及南部、苏丹撒哈拉等地区，揭示出地下的一系列古河道及古地下水系。这些古地下水系在陆地卫星 MSS 及摄影图象上均不能反映，地面观察也未能发现。而 SIR-A 却能穿透地表沉积物（干沙）延伸到几米深度（J.M[illegible]aule[illegible]约 5 米）。科学家[illegible]大沙漠内的一系列残存水系的发现对研究该地的地质历史、古气候等环境变迁，如尼罗河盆地与乍得盆地的发展演变，以及干旱地区地下水资源等问题提供了极好的科学依据。此外，还可显示沙层下伏洪积地形、干谷河道等以及显示以洪水特征为主的古地理特征。如在甘肃北山地区，SIR-A 透过第四纪戈壁砂砾石，反映出基岩的隐伏断裂，或穿透风成沙、沙梁、沙垄，反映下伏基岩特征，深度均约 10 米。

SIR-A 的 L 波长比可见光波长大数万倍，对于砾石大小的变化较为敏感，平均起伏为 4—6 厘米的地区，瑞利散射便明显增加，而小于 1.46 厘米的地表起伏则视为镜面忽略不计，也就是它不受矮小植被等的干扰。因而，在缺乏植被的半干旱和干旱地区，它

对于洪积扇带以及松散沉积物（砾石、砂、粘土等）分类的研究优于可见光和红外传感器。若运用多波段雷达，其分类效果更佳。

雷达图象对居民点及线性地物表现尤为明显。这是因为建筑物、线性地物（公路、铁路、渠道等）不仅具有金属结构强烈散射雷达信号，而且它们与地面构成角反射体，造成雷达束双向角反射，使雷达信号的后向散射增强，产生亮点，影象突出，易于辨认。

此外，SIR-A 较 SAR 的电磁波波束入射角大，其地形显示效果更强，对地表的观测能力优于 SAR，更适于陆地研究。同时，它可以弥补可见光—红外图象的不足，提供有关地表结构、覆盖、粗糙度等资料，对地质学、地貌学、海洋学调查以及资源与环境研究有着巨大潜力。

2．*海洋彩色实验装置*——OCE (Ocean Color Experiment)

它也有CZCS的作用，主要用于观察海藻。

3．*多光谱红外辐射计*——SMIR (Shuttle Multispectral Infrared Radiometer)

它具有精确定位扫描的能力。在6小时工作时间内，获取了 8700 张彩色和黑白图象。可从空间识别岩石类型，并取得植被的干湿特征数据。

4．*地形特征鉴别和定位实验仪器*——FILE (the Feature Identification & Location Experiment)

它可自动选择感兴趣的目标和避开云层。

5．*空气污染测量实验仪器*——MAPS (the Measurement of Air Pollution from Space Experiment)

它可对大气污染提供资料。

第三次试飞于 1982 年 3 月 22 日至 29 日。首次试验了用遥控机械臂在货舱内进行工作以及飞机各系统在 93℃——66 ℃极限温度下的性能。

第四次试飞于 1982 年 6 月 27 日到 7 月 4 日。携带了美国国防部的秘密军事载荷如超冷红外辐射仪(CIRRIS)，用于建立辨别苏联飞机和导弹喷焰的红外辐射特征标准；空间六分仪用于未来早期预警卫星和其它侦察卫星用的遥感器。这为航天飞机的军事应用开辟了道路。

1982 年 11 月 11 日首次商业飞行时，施放了两颗通信卫星。

1983 年 11 月 28 日—12 月 8 日，“哥伦比亚”号航天飞机首次运载欧空局制造的空间实验室 1 号飞行，共进行了 73 项基础研究项目的数百次试验。并首次携带西德的Opton公司RMK-A30/23 航空摄影相机，应用于宇宙摄影测量上，结果获得了高质量的地面摄影图象，地面分辨率达 20—30 米，有的甚至更高。这种分辨率图象可用以编制、更新和校正地形图和其它主要图件。它提供的大量信息，对地质、土地利用、农业、海洋，甚至气象等其它领域也发挥着作用。其飞行高度 250 公里，图象比例尺为 1：82 万。每 23 厘米×23 厘米的象片覆盖面积为 189 公里×189 公里。相机分辨率为 20—40 米，象片成功率达 60—80%，能产生三维的立体象对。由于它的彩色宽度达到近红外波段，

故对农业、森林及地质等遥感均有价值。在适当条件下，10 米宽的公路也能清晰识别。立体象对对高程有些变形，可以通过摄影测量人员或计算机加以控制。

1984年1月发射的"挑战者号"航天飞机携带了改进后的成象雷达 SIR-B。SIR-B 传感器的特点见表1-11[5]。SIR-B 首次具有可自动调节入射角的数字系统装置，可以用 15°—60°间至少 6 个不同的入射角获取信息，因而同时得到某一地区几个不同方位的地面覆盖，具有立体成象能力。SIR-B 还具有更高的空间分辨力 25 米×25 米。此外，它提供数字处理图象。SIR-B被安置在OSTA 3上。OSTA 3还带有地形特征鉴别和定位实验仪 (FILE)、空气污染测量实验仪 (MAPS)，以及大象幅相机 (LFC) 等设备。OSTA 3 为倾角 57°的圆形轨道，轨道高度 225 公里。这样，SIR-B 将获得 57°N—57°S 约 4×10^7 平方公里的覆盖图象。SIR-B 的以上特点和更丰富的信息容量，大大扩大了雷达图象在地形起伏、地表粗糙度、地貌、土地覆盖分类、地质构造等方面的作用。美国计划在孟加拉和印度利用 SIR-B 研究雷达穿透植被层的入射角，计算红树林生长量和绘制季风期洪水范围图等。

航天飞机上所携带的大象幅相机 (Large Format Camera——LFC) 用 9×18 英

表 1-11 SIR-B 传感器特征

参数	SIR-A	SIR-B
轨道高度	260km	225km
轨道倾角	38°	57°
频率	1.28GHz	1.28GHz
极化方式	H H	H H
观测角	47°	15°—60°
扫描宽度	50km	20—50km
峰值功率	1kW	1kW
天线尺寸	9.4×2.16m	10.7×2.16m
天线增益	33.6 dB	33.0 dB
波段宽度	6 MHz	12 MHz
方位分辨率	40 m	25 m
射向分辨率	40 m	58—17 m
光学数据采集	8h	8h
数字数据采集	0	25h
数字通讯能力	N/A	46Mbits/s

寸的黑白、红外胶片，分辨率为10米，覆盖宽度160公里，其中覆盖我国20°N—28°N，108°E—120°E。所得到的地面摄影图象多用于更新地图。

第三颗航天飞机成象雷达带有微波实验器（SAMEX），力图得到世界范围的图象。更新的航天飞机成象雷达发射计划，将增加波段，并采用多极化、多入射角的工作方式。

二、火箭遥感地学评价

火箭遥感对于人们并不陌生。早在1907—1912年，莫尔（Alfred Maul）便设计了一个约40公斤重的系统（包括一架8×10英寸相机和一个陀螺）成功地发射到约800米的高度。1946年由新墨西哥州白沙导弹发射场发射的V 2探空火箭，曾用小型自动摄影机第一次获得超高空（160—320公里）的象片，它证明了探空火箭在地质调查等方面的潜在能力。1955年“海盗4”火箭从224公里高度拍摄了红外黑白象片，并直接应用于地质判读，发现了美国亚利桑纳州一带两条相互平行正南北走向的线性形迹。这些火箭象片引起人们对轨道摄影的兴趣。

目前，火箭已是一种很有潜力的航天遥感平台。它是介于飞机、气球与卫星之间的一个补充平台。但由于火箭发射太快，连续摄影尚无法解决，所以火箭作为一种遥感手段还不能得以广泛的应用。这方面的研究工作仅在少数国家进行。1957年英国云雀火箭的诞生以及技术不断提高，特别是控制系统的不断改进，大大推动了火箭遥感的发展。火箭用于地学遥感即用于资源与环境监测，可以分为两个方面，气象火箭和资源火箭。

（一）气象火箭

气象卫星能测量0—80公里左右的许多大气参数，如大气温度、气压、风场、臭氧及云的结构等。它用于考察世界范围的气象资源目前已进入商品化、业务化。但是气象卫星所得的气象要素往往是一个相对量，反映一种空间分布状况。在低空，它测得的结果与气球探测仪测量的结果相似，精度较高；在高空或超高空，对于平流层以上的大气数据，气象卫星测量推算的精度较差。这就需要火箭加以弥补。

气象火箭的作用，一是补充平流层即20—80公里高度的气象数据；二是作为气象卫星探测数据的绝对量标定；三是起数据加密作用。气象卫星的数据较粗，若在一定范围内，同步发射几枚气象火箭，则能弥补气象卫星考察数据的不足。

在国际上气象火箭作为考察气象资源已是一种独立手段，也已达到业务化程度。目前，全世界的常规气象火箭网站有50多个，经常发射火箭，探测到比气象卫星有更高分辨率的大量数据。这些数据被定期发表(每月出版一期资料)、利用。它与卫星遥感资料相互验证、相互补充。

现在美国、苏联每年发射大量气象火箭进行环境与资源考察。其它许多国家也相继建立起自己的火箭考察站。美国除在国内设有气象火箭站外，还在国外、在海岛上、在极地区设有几十个常规观测站，此外还有些不定期的考察站。定期和不定期地发射每年达几千枚，可得美国本土或北半球上空0.2毫巴(约60公里)高空的天气形势图。最近对南半

球气象资源考察的火箭数量也在不断增加。这对于长期天气预报、灾害性天气预报，甚至对国防上都是很重要的。

我国早在1959年便开始研制气象火箭探测系统，且先后有3种型号，其中3型已发展到经济、轻便、又小型化的程度。我国的火箭技术早已过关，生产能力和科技队伍也完全具备。但我国目前还没有火箭考察站。据估计，建立一个20—60公里小型固体气象火箭观测站与一个常规气球探空仪观测站投资差不多，成本并不高，所以在我国建立火箭考察站并非困难之事。

（二）资源火箭

为了探测地球资源而发展的资源火箭，是遥感的一种新手段。主要在英国进行这方面的试验。最大、最典型的资源火箭是英国云雀（Skylark）地球资源火箭。除此之外，英国其它的小型资源火箭有Fulmar、Petrel和Skua等，可用于满足小范围内任何特定的研究项目的需要。

自1957年以来，云雀火箭共发射356枚，曾用于天文、气象、地球物理、探空试验，发射可靠率为85%。它既是气象火箭又是资源火箭。其中专用于资源探测的有200多枚，主要做了三次试验，分别是1972年3月在澳大利亚南部的乌姆拉地区；1973年3月在阿根廷中部以及1977年在瑞典北部的基律纳（Kiruna）。前两次试验成功，后一次试验失败。

1．云雀火箭的结构和发射特点

（1）结构：如图1-24，它共分三节，前两节为动力部分，后一节为负载部分，最多可装9架相机，长达3.6米。由一节节圆筒连接组装。方向由头部喷嘴控制，姿态由陀螺控制。

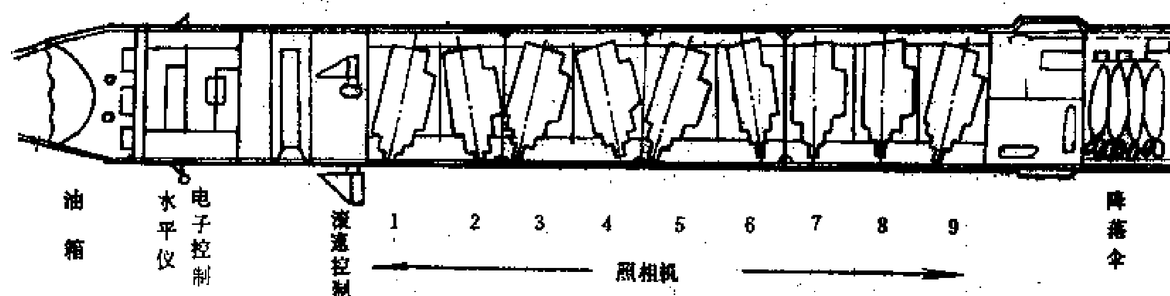


图 1-24 资源火箭的结构

（2）有效载荷：包括姿态控制、能源、时间控制等设备。云雀火箭是由二节火箭推进器送上天空。姿态控制器由水平仪输出信号控制着两轴的稳定和仪器的超平，使载体保持纵横方向的水平以及围绕中轴的旋转运动，使相机窗口始终对准地面。定时器控制着飞行的全过程如载体/推进器的分离、姿态控制、相机开关和载体旋转等。

（3）相机：云雀火箭最多可装有9架相机。主要选用瑞典哈斯德(Hasselblad)

多光谱相机。两架相机焦距均100毫米，光轴倾斜分别为17.5°和37.5°。另五架相机对准上述两架相机的同一视场，用滤光片和两种胶片，因而得到多光谱信息。第9架相机焦距250毫米（为黑白全色片），以取得地面高分辨率图象。

（4）胶片：有三种，一是Eastman Kodak High Difinition Aerial Film Type 3414。解象力为250线对/毫米，慢速全色负片，对红光敏感，排除大气霾的影响。二是Eastman Kodak High Difinition Colour Film Type So 242，微粒、慢速，天然彩色反转片。解象力为92线对/毫米。三是Kodak Aerochrome IR Type 2443。对于专题应用如水面、作物病虫害、森林等都很有用，但分辨率低些。

（5）回收装置：云雀火箭的载体用降落伞回收。降落伞直径7米，终速10米/秒。由气压计控制在离地面3公面处张开。海上回收，附有浮艇；空中回收，多在降落伞上装有特制气球；也可用飞机回收。

（6）飞行路线：如图1-25，对于地球资源勘探，发射的最大倾角为45°—60°，呈抛物线状，其大小以及落点均决定于高度。火箭设计基本要求是①保证摄影图象的地面分辨率和区域覆盖。发射前须知地面和大气上层的风，然后纠正发射角度以得到有效的火箭轨迹确保全区覆盖。②建立可控制的稳定平台，如载体/推进器分离、相机开关、载体旋转等。整个发射过程用定时器严格控制。一般说来，第一节推进器5秒燃尽，第二节推进器30秒燃尽；70秒时约上升到70公里，载体与推进器分离；160秒启动姿态控制器，使载体逐渐变为水平，所带仪器指向下方；在接近最高点时启动照相机，在水平面上每旋转28°则停下拍摄约需10秒钟；272秒达到高峰，即最高点277公里，然后开始下降，此时照相过程仍在继续；待载体旋转拍摄一周过程完成后，照相机关闭；下降到90

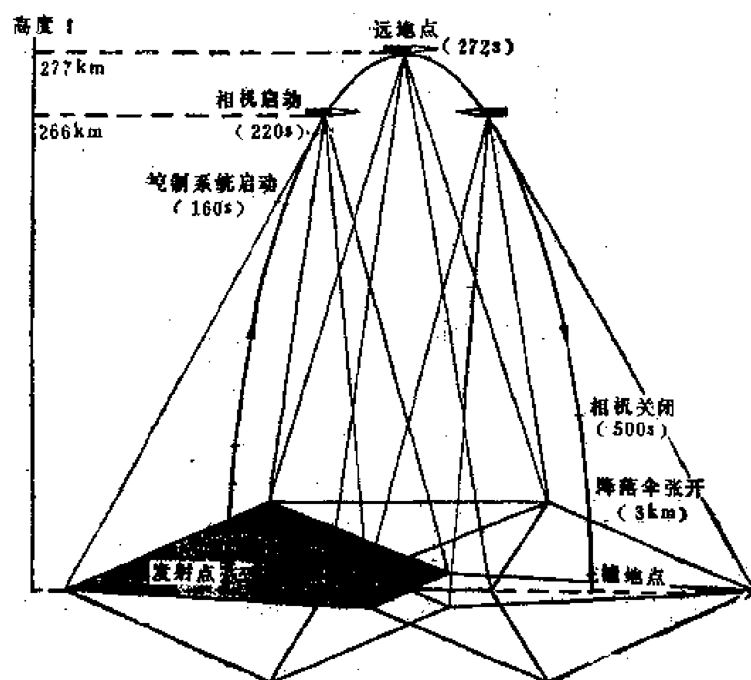


图 1-25 资源火箭的运行轨迹

公里又重新进入大气层；在3公里时张开降落伞，载体以10米/秒速度，用300秒下降，最后缓慢着落回收。

（7）覆盖范围：随着火箭的旋转，相幅在地面呈螺旋式覆盖组成六角形图形，可获得直径约650—750公里，近圆形的地面覆盖，面积约40万平方公里。覆盖面积主要根据高度，云雀火箭发射的高度可以从475—75公里。

2. 1972年3月在澳大利亚南部乌姆拉（Woomera）地区的试验

这是云雀火箭作为地球资源勘测的首次发射，也是英国地球资源观测的第一次空间试验[9]。是由英国国防部与工商部合作的National Space Technology Programe的一部分。发射近于垂直（倾角偏5°），上升高度达277公里，总共飞行十来分钟。

火箭上装有两架哈斯德（Hasselbled）相机。一个装有全色黑白航空底片，前面加上滤光片转轴，分解为黄、绿、红三色；另一个用航空红外片，加有假彩色反转乳胶，为假彩色反转片。相机通过载体的窗口，光轴基本保持与地面的近似垂直摄影。象片呈梯形。全色黑白片的地面覆盖直径约750公里，大致相当于40万平方公里，比例尺约为1：200万；分辨率100—150米，假彩色反转片的地面覆盖直径为440公里，面积15万平方公里，比例尺约1：300万，与陆地卫星影象的比例尺1：366.9万相近似。实验区主要为干旱-半干旱的荒漠地带包括东部的弗林德斯（Feindecs）山脉和丘陵地以及Eyre等大盐湖。主要植物为干旱区的草地和灌丛（以桉树灌丛为主），南部为耕作区，以小麦为主要作物，反映出土地利用类型与内陆草场的显著不同。

试验进行了同步的航空摄影和地面实况调查。它是由英国莱顿（Reading）大学地理系和澳大利亚运输科学和工业研究组织（CSIRO）合作进行。航高分别为6000米和800米，用了改进型直升飞机……。为评价火箭摄影的质量，实验样区分为二种：（1）针对航高6000米（1：5万），取了20公里×40公里的长条样区（小样区包括在内）；（2）针对航高800米，取了10个300米×300米样区，每个样区内又包括100个0.5米见方的小样方。地理工作者对每个样方详细记录表土、植被、岩石、地形等各方面资料并采了样，同时对样方进行真彩色与假彩色地面摄影以作为对照。CSIRO还对样方进行光谱辐射测量，了解分波段的反射光的密度。

在发射后三天内取得全部资料，全色片的地面分辨率一般达100—150米，道路、线性形迹可达15米，宽大地面形迹、沙脊带与主要地质结构比大比例尺航空镶嵌图更为清晰，可以区分重要的地面形迹、地物纹理和界线。Ceduna地区的许多小型畜牧场，由于具有平直的边界和独特的色调，也不难从邻区中识别出来。莱顿大学地理系分析这些资料认为火箭摄影可绘制1：100万地形图，特别对荒漠地区地表形态与地质等分辨率要求较低的地理要素描述详细，但对分辨率要求较高的植被、土壤，显得比较粗略。可见火箭摄影进行大范围的自然资源调查是十分有利的。由于该区文化景观少（如居民点、道路），也就是说地面控制点不清，所以不足以更新1：25万地形图。此外火箭图象还可进行面积估算。但若要提高农业区的估算精度，则有待于多波段技术的应用。实验中多光谱技术的效果不够理想。假彩色红外反转片，由于移位而比全色片分辨率低，仅对高对比度的水系、主要道路较为突出。

3．1973年3月阿根廷中部圣·路易斯(San Luis)地区的试验

此次试验[10]发射了两颗云雀火箭(SL 1181，SL 1182)，其目的是为农业和自然资源勘测以及评价火箭的利用潜力。火箭是由Argentine空军基地发射，上升高度达200—240公里，覆盖直径为650—700公里，面积约33万平方公里。

载体上用了4架相机(3架瑞典的哈斯德多光谱相机和1架美国F 24航测相机)。倾斜摄影，选用假彩色红外和高分辨率的天然色胶片，可得13—43米地面分辨率的图象，要比陆地卫星图象30—80米分辨率优越，与天空实验室Skylab图象效果相当。

火箭的倾斜象片呈梯形。由于测定了载体轨迹和象片倾斜角度，便可以运用光学和计算机方法进行象片几何纠正，并把专题要素或地图要素绘制影象地图。阿根廷试验中，整个33万平方公里的影象全部制成了1：50万影象镶嵌图(Photo-mosaic)，局部地区制成了1：25万影象图。它们清晰地显示了交通和水系网络、新住宅区以及耕作形式(田块结构)。这与阿根廷1：50万常规地形图相比，内容要详尽得多，效果较好。

试验进行了近同步的地面实况调查和航空摄影。共选择了2000多个点，收集了12方面的实况资料。其中包括：作物与主要杂草种类、它们的地面分布状况、裸地的百分比例、作物的成熟阶段和高度、农业条件、土壤类型和颜色、表面水分条件、湿地、盐渍化程度、土壤侵蚀等，同时在许多地区进行了地面摄影(35毫米、柯达彩色透明片)。除了这些地面资料外，进行了航空摄影，采用4种胶片(除火箭上用的两种外，还有全色和真彩色负片)，选择了33个样带总长为2000公里，获得了1：6万的航空象片。

利用此次试验的火箭摄影图象首先进行了土地利用和作物分析。耕地与非耕地可以立即区分出来。非耕地中，可以估算林地覆盖密度和天然草场质量。阿根廷属稀疏草原景观。小块天然林地，当地称之为"monte"。按其密度可分为两类，较密的灌木丛和稀疏灌木的草地。天然草场中可区分出杂草、饲料草和紫苜蓿等。根据它们的覆盖比例又可分为两类，多枯萎杂草的草场和改良草场。耕地中主要识别不同作物类别并推算其面积。运用常规光学解译方法进行色度测量，色组分析，各种作物类别显示各自不同的色组比例，此外采用了半自动数据处理方法，用以识别作物并进行面积统计。根据地面调查资料，在假彩色红外象片上区分出玉米和高粱、饲料谷物、紫苜蓿、休闲地，连同二种草场、二种林地(或"monte")共划分出8类。把8种类别按68个亚区计数(计算面积和比例)，制成点分布图，每种统计单位为10公顷(即每个点代表10公顷)。不同作物的种植面积是用地面调查资料外推法计算，并选择了12000平方公里的耕作区作为检验样区。通过与地面统计资料的对比，精度可达85%，结果见表1-12。

此外，由于不同作物的成熟阶段存在着区域差异，结合地面实况对这些独立的作物类别划分出不同的成熟阶段，也有助于区分出如草场间、高粱和玉米间、食用谷物与饲料谷物间的差异。同时有必要的话还可以在较短时间内把出口粮食从其它作物中区分出来并进行估算。可见火箭摄影资料是可以进行作物的面积估算和质量评价。

阿根廷的火箭象片还用于资源勘探和制图(澳大利亚也在进行此项工作)。用以地形图的更新以及编制1：25万—1：100万的土地系列图(land system maps)。其中有三类专题图内容更为详细，达1：5万比例尺。它们是：

表 1-12 作物分布比例

类别	估计值	观测值	误判数	误判率(%)
裸地(Bare Soil) 杂草(Weeds) 黑麦等(Young Rye)	54	59	5	8.5
草地(Pastures)	90	92	2	2.2
食用高粱、玉米(Grain Sorghum maize)	27	24	3	12.5
饲料高粱、玉米(Forage Soighum maize)	42	41	1	2.4
紫苜蓿 (Alfalfa)	7	4	3	75.0
总计	220	220	14	6.4

（1）地质、线性形迹、矿藏、地貌、土壤以及土壤侵蚀区。如在梅塞德斯(Mercedes)地区的东部和南部主要黄土区中，选择1万平方公里地区作活动沙丘图，并结合其地貌、地质、水系、人类活动等来评价土壤侵蚀程度、分析其原因寻找解决办法等。此外详细的地质、地貌制图为进行成因分析提供基础图件。

（2）水文要素包括水系网络、盐渍化程度和盐湖。

（3）土地容量(即土地评价)。

4. *应用范围*

在澳大利亚和阿根廷，云雀火箭摄影图象经过纠正后均制成了1:25万地图，并进一步作出土地利用和植被图。区分出耕作与非耕作区，耕作区内作物统计可信度达85%。同时还进行一系列专题制图，成为资源调查的一个有效手段。

概括以上的试验，云雀火箭对区域计划和经济开发是很有用的。它可以做以下十方面工作：

（1）结合地面调查可进行作物估产（包括大豆、玉米等）。

（2）土地利用制图。

（3）用于普通地图的更新，特别是对未经测量地区，可用于地形制图和修饰图。

（4）森林调查。

（5）水污染监测。

（6）冰流监测。

（7）河口淤积。

（8）水资源调查(包括雪被)。

（9）冰川监测。

（10）地质制图、断裂构造分析以及找矿。

（三）火箭遥感的特点

1．火箭可以选择最有利的时机

由于它时间短且不受轨道的限制，所以可选择晴朗天气，避开云天，这对多云地区很有利。而卫星有固定的轨道和过影时间限制，难以避开云雾。

2．火箭资料有快速、大面积同步覆盖的特点

资料立即回收、处理，3天后便可提供用户使用。卫片则时间长得多，一般最长两个月，最快一星期左右。火箭资料不仅快而且能同时收集到40万平方公里大区域内的黑白及彩色多光谱和红外图象。这对突发性事件如唐山地震、海上油井事故、长江口污染扩散等分别可完成1:10万图，并修饰1:5万图，还是很有意义的。

3．火箭灵活、方便，发射简单，准备时间短，发射架小，可以移动

这对取得地区性资料很方便，适于特定地区特殊目的的区域探测即专题遥感研究。如希望进行长江流域水情监测，在武汉发射一枚火箭，覆盖范围西部可达重庆，东部可达南京；要了解西藏资源、藏北油田等，发射一枚火箭可覆盖整个西藏；黄委提出在黄土高原搞100个样方，每个样方10公里×10公里来监测黄土侵蚀量，一个资源火箭也能解决问题。

4．成本较低，并可根据用户的需要来设计

火箭舱及全部设备可用降落伞回收。发射一枚资源火箭费用约30万人民币，净消耗10万元。这比起发射一颗卫星至少2500—5000万元要便宜得多。

5．摄影处理设备简单

一般运用常规的目视及光学解译方法即可，不需要过多的训练和设备投资。必要时才采用计算机扫描系统。

当然，火箭摄影也有它自身的缺点。由于火箭发射快，红外胶片往往感光时间不够。如三次试验中，前两次均在热带地区，气温高。第三次试验用同样的设备在瑞典北极圈内的基律纳进行，由于温度不够，所有红外胶片均未感光。可见火箭摄影还是有区域性的。

三、气球遥感地学评价

（一）气球遥感的发展

气球是人类升上天空最早的飞行器。早在公元907—960年，我们的祖先就在战场上应用了这项技术，当时称之为“孔明灯”。它是由亚麻布和纸做成，以热力为动力，容

积600—700立方米，飞行高度1830米，水平飘飞距离达2300米。到了18世纪，气球不仅用于战争，而且开始用于科学试验，以测定不同高度的气压、温度，飞行高度也升到4000—7000米。19世纪，气球飞行高度已达22000米。1858年在法国巴黎上空用系留气球进行了第一次空中摄影——这是人类获得的第一张空中照片。因此可以说"原始遥感是从气球起源的"。

此后，由于飞机技术的逐步发展和完善，飞机的优势压倒了气球技术，使它处于长期停滞阶段。

20世纪50年代以来，随着近代科学技术的迅速发展，使优质球膜材料、遥控遥测技术以及精密仪器等逐步得以保证，大大地推动了气球技术的新发展。气球应用特别是高空气球又受到重视。50年代，初步奠定了高空气球的理论和技术基础。60年代以来，不少国家相继建立了高空气球系统，并进行了一些专题的科学试验。比如1957—1970年美国的Stratoscope气球，载重3150公斤，升高24400米，曾获得不少很有价值的天文学资料。到了1972年，气球已能升到49公里高度，并携带多种探测器对地球表面、大气和其它天体进行观测。

进入80年代已有几十个国家利用高空气球进行空间科学的研究，除美、苏、法、日外，澳大利亚、印度等也在积极发展。全世界已有28个永久性大型气球发放基地。球体最大140万立方米，载重5吨，飞行时间达数日，甚至环球飞行，进入空间和地面多种学科的单项和综合性试验。许多卫星上的探测仪器都先在气球上试用。

目前，从球体大小、载重、年发量、飞行时间等方面看，美国处于领先地位。但从气球摄影质量来看，最成功的是法国。法国曾与意大利、西班牙合作，从意大利Trapane发放，西飘飞越地中海到西班牙回收。虽然距离不算长，但图象质量很好。法国高空气球升高约30公里，用两架OMERA 60型摄影机，附有一套自动调节装置（光圈自动调节系统以及各种指令的自动装置，另有多光谱光度计用于测量单色光谱亮度的密度），气球与地面是通过遥测遥控系统来联系，可获得1:40万的黑白与彩红外图象。同时对所摄地区景观单色亮度的密度进行光电测量，重叠90%，覆盖625平方公里，分辨率可达10—15米。

在气球理论方面，法、美、日、英等国一直很重视，特别是美国空军坎布里奇研究室1—2年一次的气球讨论会十分活跃。

目前，气球已成为较成熟的空中运载工具，它与卫星、火箭、飞机等一样成为遥感探测的一个重要手段和补充平台。

气球作为遥感器的一种运载工具，它的形状、大小、性能等视所需运载的仪器设备、用户的需求以及气象条件而定。

气球可分为无动力气球和动力气球两大类，动力气球，是由电池驱动的机动式慢速螺旋浆推动。1972年美国空军发射的Pobal动力气球，体积约2万立方米，飞高18300米，飞行时间3小时。动力气球的优点在于可遥控，可在一定范围内沿一条给定路线飞行或在给定区域上空盘旋。利于特定目的的遥感摄影。无动力气球，是目前普遍应用的。它按飞行高度又可分为：

无动力气球
- 高空飘浮气球
  - 零压气球、超压气球 30—50 公里
- 低空系留气球
  - 同温层系留气球 20 公里
  - 对流层系留气球 2—5 公里

按形状可分为：吊篮式气球、风筝式气球和气艇式气球等。

（二）高空飘浮气球（自由气球）

所谓气球遥感一般多指高空气球，即飞行高度 30—50 公里，介于飞机和卫星之间的遥感平台。

1．概况

高空气球又可分为零压气球和超压气球。超压气球是不带压舱物，完全密封，在等密度高度上飘浮可飞几个月，但是负载有限，一般小于 40 公斤，成本较贵，很少应用。

目前通用的是一种无动力的大型零压式聚乙烯薄膜气球。它是靠气球浮力把盛有仪器的吊篮带到高空去进行探测的。气球可装载几百公斤甚至几吨(一般在 1 吨以下)物品，飞行可从几小时到几十小时，气球体积一般为几到几十万立方米，最大达上百万立方米。摄影图象的比例尺主要取决于摄影高度和物镜的焦距，一般飞高 30—50 公里，可得比例尺 1:30—1:50 万的图象。地面覆盖的大小取决于象幅的大小，对高度 40 公里的气球而言，80 毫米的焦距，可得 1:50 万比例尺摄影图象，若使用 70 毫米宽的底片(有效范围 56 毫米)，则地面覆盖面积约为 28 公里见方，即 800 平方公里。这与卫星 995 公里高度，180 公里见方覆盖相比精度提高了 7 倍以上。这对大面积国土整治、资源清查、地质地形分析均可作为提高卫星遥感精度的辅助手段；与航空遥感相比又能扩大视野，加强整体概念。

高空气球的吊篮是由缆绳悬挂在气球下方的，由于运载气球和大气动力的相互作用，会引起吊篮的两种运动。一是绕悬挂轴的随机转动。当气球上升时它约以每分钟两转的不规则转速旋转；当气球平飞时仅每小时数转（已观测的最大速度为每小时 12 转)。二是相对于地平铅垂线的单摆或复摆运动。当气球上升时，一般观测到的角位移偏离铅垂线不大于 2°；平飘后，角位移小于 0.5°。国内外资料证实在 3—4 万米高空吊篮方位变化较缓慢，它相对于地垂线的摆动角度一般小于 0.1°，所以一般气球平飘后吊篮的这两种运动可以忽略不计或稍加控制。

高空气球的飞行轨迹取决于高空风场的运动状况。气球有三种基本的飞行轨迹：精确控制飞行、保持定域飞行以及回可收的往复飞行。这便需要选择每年有经常重复的风势存在的时期飞行。高空气球采用扔下压舱物或排放气体来控制飞行。后两种飞行必须在平流层内或平流层、对流层间存在两种相反的风带（即大气相邻两层空气有相反的流动)，这样只须改变气球高度就可控制气球在某区域上空往返飞行。在两层间有一最小风层，从而为气球在一较小区域里盘旋较长时间提供可能。

目前，长时间、高升限、重载荷仍是高空气球的发展目标，不少国家均在做这方面的努力。美日正在筹划一次长时间飞行，从美国太平洋沿岸的加利福尼亚发放，借东风沿阿留申群岛横越太平洋到日本回收。欧洲国家则准备从西欧发放，借西风扫过整个西

伯利亚也到日本回收。中日合作越洋飞行，从日本的诺尔岛发放，经东海在上海附近回收。日本、美国设置了流动遥测站，采用飞镖式（boomerang）或新飞镖式飞行方法以及利用季风交换季节高空风的特点，每年可实现数次20—40小时的长时间飞行。最长飞行时间达78小时。我国已开始研制流动测放站。

国际上的高空气球系统，除了通用的零压式聚乙烯高空气球外，现正在向大型超压气球突破。此外超压气球与零压气球的混合气球系统，美国称之为Sky Anchor。这里超压气球仅作为补偿浮力损失的一个副气球。在太阳辐射消失气球系统下降时，由于超压气球体积不变，下降过程中将增加浮力。这是一种大有希望的气球系统。辐射控制气球，美国已在赤道附近实现了变高度的环球飞行。红外气球也属这类气球。法国还研究了一种地面实验站气球，它利用阿基米德动力，通过牵引或推进方法以克服风的作用，利于特定地区各种现象的动态监测。英国D·Ramsaen等人提出使用低温压舱物即用液氦补偿浮力损失的方案，理论上可能实现10—15天的定高长时间飞行，但具体技术上尚有困难。除气球系统本身的技术改进外，发放系统也在引进，一般采用动态式发放，美国近来采用“Soft Coller”方式。此外通用PCM遥测系统，地面站有较完善的地面数据系统，运用计算机采集、记录遥测数据；多采用低速率PCM遥控系统，对于在遥测站范围之内的气球飞行，一般仍采用传统的电波跟踪方式。近年来也开始大量采用Omega，Loran等飞机、航船导航方法。遥测站视距以外的大范围飞行的定位，只能借助于卫星。高空气球基地多采用单站飞行，美日设置流动遥测站与主站结合。英日等国还进行中继气球飞行。

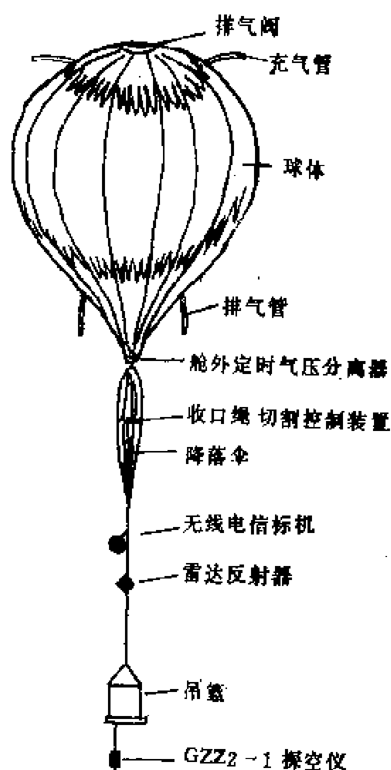


图 1-26 典型的气球飞行系统

可见，随着高空气球工程系统的不断发展、完善，气球长时间和超长时间飞行的逐步突破，高空气球将越来越成为遥感更有效的运载工具。

2. 我国万立方米级高空科学气球系统

1979年以中国科学院大气物理研究所与高能物理研究所为主体的气球总体组开展了高空气球工程研究。经过5年的努力，在华北建立起一个高空科学气球系统。它包括千立方米级和万立方米级高空气球系列和包括发放、遥测、遥控、姿态控制、回收在内的一套技术工程系统。同时在河北香河建起一个气球发放和遥测跟踪地面站。近几年又研制流动测放站。

（1）系统概况

气球飞行系统概况如图1-26所示。

①气球：发展了500—50000立方米系列（其中定型7种型号）的零压式自然形聚乙稀高空气球。气球的载荷能力为1—250公斤，升限高度为30—36公里。可分为两类，一是轻载荷的高空探空气球——500立方米（$\Sigma=0.55$）和1000立方米（$\Sigma=0.6$）；二是不

同载荷能力的科学运载气球——1000立方米以上($\Sigma=0.3$)。

②发放、飞行系统：发放为静态式、氢气浮升，地面风速<3—5米/秒，初始升速250—275米/分。气球上升到升限附近涨满时，排气管自动排出适量气体，气球便进入平飞。飞行系统除气球和装载仪器的吊篮外，还配备有浮力控制装置（压舵阀和压舵物、排气阀）、分离装置、供飞机和雷达识别用的雷达角反射器等。整个系统用缆绳和各种环扣连接。降落伞在飞行系统中作为一种受力连接件。

③气象保证系统：飞行需要了解地面和高空气象资料。因而具备了完善的气象探测系统，包括气象传真接收设备可收到北京和东京气象中心发布的各种天气图，结合本站和邻近台站资料，进行2—3天的中期天气预报、24小时短期天气预报和3小时的订正预报，以保证气球发放、飞行和回收的安全。

④遥控、遥测、跟踪、定位系统：遥控系统控制飞行、姿控指向系统、分离气球和降落伞等重要环节。它把地面指令经遥控天线发出，球载指令接收机接收。遥测系统将观测实验所得数据转换成电信号，通过无线电传输系统直接传至地面。地面数据系统运用微型计算机和六笔笔绘记录仪记录遥测数据。气球在空间的位置是用气球相对于地面跟踪站的702型雷达跟踪天线的角度（方位、仰角）和斜距来计算确定的。测距仪实际达到的测距精度为±200米。

⑤吊篮回收系统：用降落伞回收。为了缩短留空时间，提高落点预报的准确性，采用了我国独创的单伞收口两次充气的延迟开伞技术。另有一些地面跟踪、定位设备（如无线电信标机、测向仪），以测定具体落点。

⑥姿态控制和定向系统：吊篮方位控制系统使气球吊篮稳定在某一预定的方位而成为一个单轴稳定平台。对于吊篮复摆运动因影响很小未加控制，而吊篮绕悬挂轴的缓慢随机转动，采用地磁敏感器来控制。此气球吊篮姿态控制系统具有结构简单、稳定度较高，稳定区域较大和通用性强的特点。它已经可以用于一般精度要求的天文观测，同时也可以作为高精度姿态控制的基础平台。指向系统是通过地面站指令改变望远镜或仪器转台的方位角、俯仰角，使其对准预定目标。

⑦其它球载设备：如定时-定压装置(控制抛压舵物、排气、切割分离、各种装置的启动、关闭等)。

（2）气球的飞行季节和飞行方式

为了保证气球飞行在测控系统作用范围内取得较长滞空时间并能够较方便地回收气球吊篮，选择对流层和平流层具有不同风向的季节发放气球。

河北香河气球发放站位于北纬40°左右，气球飞行区域主要在北纬38°—41°范围内，属北半球中纬度地区。气球飞行有两种方式：①自由式飞行，即7月盛夏季节对流层西风不强而平流层东风风速较大，气球很快飞回，滞空时间较短。②遥控往返飞行，即5—6月和8—9月季节，华北地区高空风总的趋势是对流层（16公里以下)盛行偏西风，而平流层高度为东风环流。在这种适宜的高空风条件下，从香河站发放，使用排气阀和压舵阀使气球在一定高度(20公里左右)定飞，顺西风带向东飘飞适当距离（约在渤海湾上空），再抛压舵物（几十公斤铁沙）使气球上升到升限(约30公里高度)，顺东

风带向西平飞返回，在香河附近接收。基本上每次回收成功。国内还准备试验在内蒙乌海市一带（纬度与香河站相似）与香河站直线距离约840公里，距中蒙边界280公里的地方发放。往返飞行经过黄河、山西、鄂尔多斯、宁夏等地，最后希望在银川、灯口一带回收。这样，、山西陕西等省便可用到我们自己的遥感资料。

到目前为止，我国已能稳定成功地发放3万立方米的气球，已进行5万立方米的发放和8万立方米的试验。其中3万立方米的气球，飞行最长时间11小时14分钟，最大高度37公里，最大载重203公斤。现已发放5000立方米以上的气球107个，并进行了十几种科学试验项目的飞行。在气象气候、大气物理、空间物理、初级宇宙线、空间天文、遥感及环境科学等方面都取得了有价值的科学资料。这说明我国的高空气球系统已达到实用水平，并在科学观测方面取得了实际效益。为了迅速发展我国高空气球遥感，我们需要不断改进、完善现有的高空气球工程系统，并向更高水平迈进。有关方面正在争取建立一个具有10—30万立方米气球生产和发放能力较强的遥测、遥控功能，单站飞行和双站(增加一个流动遥测站)长时间飞行相结合的气球技术系统。年发放能力为20—30个大中型气球，载荷500—1000公斤，飞行时间可超过24小时。

3. *应用实例*

高空气球自身的特点，决定了它在资源清查、环境监测、地质地貌分析、海岸带研究、考古以及大范围气象、天文数据的采集，广播、电视传输、通讯中继等等方面均作为卫星和飞机间的一个有效的辅助手段和运载工具。国外做了不少这方面的工作，国内也做了一些尝试。这里仅举几例加以说明。

(1)1982年9月和1983年6月中国科学院遥感应用研究所在院气球总体组协助下，利用气球工程系统3万立方米的全套设备，进行了高空气球遥感试验。试验区从河北省香河县至天津宁河县，覆盖面积3000平方公里。试验采用了较高分辨率的相机—航空摄影机航甲11—10和哈桑摄影机，用了假彩色红外和真彩色红外反转片。首次在我国平流层高度（33公里）获得小比例尺（1:32万)、中分辨率的红外遥感图象，同时还得到相应的各种环境数据。经过技术处理后，它将为该地区土地资源清查、环境监测等方面提供依据。但是通过此次实验也发现了一些问题，如由于吊篮稳定性问题尚未完全解决，图象变形大，需要经过复杂的纠正方可实用。此外国产红外胶片对高空不大适应，因而象片质量不能保证。要使气球遥感资料能尽快达到应用水平尚有许多问题有待于解决，如风向、路线预测，气球过夜（气压等边界条件变化气球易于爆炸……），长时间飞行浮力平衡的研究，高精度姿态定向系统的研究等。此外，还应考虑具备流动发放气球的能力，只有这样才能根据特殊地点的特殊需要，有的放矢地进行气球发放和飞行以解决实际问题。

(2)1971年10月26日在法国卡尔卡拉(Carcassonne)地区以及1971年11月3日在法国维尔弗朗什德鲁埃格(Villefranche de Rouergue)分别进行了空中气球摄影试验。所得的1:40万气球象片，图象细致、分辨率高(10—15米)、变形小，并有立体感。图象对于地表形态、水系网络、田块结构、裸地以及1000人以上居民点等均较易于识别，但由于比例尺小，对一些碎部、一些详尽地物的识别有一定困难。对于某些目标

往往需重通过相邻要素的相关性来确定，如道路为两个居民点相连的线、高压线是不连续的……。尽管如此，试验仍表明高空气球象片对于大区域研究（如中小比例尺的综合制图、专题制图以及景观分析等）是很有价值的。在放大的1:20万气球象片上，运用景观分类法进行了自然区的识别分析并绘制了景观类型图和各种专题地图，取得了良好效果。

研究中为了描述景观单元，首先建立地貌、水文、土地利用等相应的各种模式和相关指标，将所有景观单元及特征通过编码数据化，并进行计算机数据处理（多采用聚类分析），同时把景观单元综合、归并为景观制图单元进行数字制图，从而得到以自然地理要素为基础的1:50万景观类型图。这样的景观类型图与行政区划图（农业区行政界线）结合使用，便可了解各农业区所处的自然地理环境，为政府进行国土整治提供重要信息。同时，为了揭示区域内某些特征变化，需要绘制各种相应的专题地图。首先寻找各种自然条件分类的变量，并建立每个变量的模式值（La Valeur modale），再根据不同的目的，或是直接提取专题要素，或是将若干单一变量重新组合，从而得到各种专题地图，并通过这些变量的模式值来说明它们的特点。最后进行各种专题图之间的对比，若有的单元界线在数个专题图上是一致的，则此界线要比仅在单一专题图上的界线高一级，这样便可以平衡不同专题相关界线的变化。通过对比可以较好地抓住其综合体特征和区域分异，正确揭示自然环境的变化规律。

（3）1975年11月22日在法国Lannemezan高原的气球摄影图象成功地应用于地质解译。图象上对于Foix的花岗岩侵入山体、Lavelanet的石灰岩褶皱构造、比利牛斯山北部的碳酸盐与砂岩组成的东西向高原地形等岩石地层和构造现象以及地表形态都显示得十分清晰；对于一些断裂构造如南北向明显断层、平行于层理的东西向断层、南东/北西向的北比利牛斯逆掩断层、一些隐伏断层以及它们的交切关系等更是历历在目。

试验证明通过高空气球的稳定平台，可以获得优质立体图象。它对于研究程度较高的地质区域，不仅能发现一些新的构造（有时获得相当详细的内容），而且能揭示出区域地质单元的空间结构和规律性，对于研究程度较差的地区，能勾绘出整个区域的地质、地貌、水系等概貌，对线性形迹尤为突出。

可见，气球遥感是介于卫星和飞机之间有价值的遥感观测平台。它对地球科学的不同领域均有较好的应用效果。当然它不能代替其它探测，而只能是进行综合分析的补充手段。

（三）低空系留气球

1．概况

前面已提到，系留气球分为两类：同温层（平流层的下层）系留气球（载重200公斤，高度可达20公里）；对流层系留气球（可负载几十斤，高度达2—5公里）。但通常所说的低空系留气球主要是指后者。系留气球遥感对作物清查、森林火灾监视、水污染监测等均有重要作用，特别是对流层系留气球直接可作为一种监测台，根据不同需求进行相当长期的重复摄影观测。

系留气球是通过系绳与下方联系。特制的系绳可以是单根，也可以是2—3根，往

往除作缆绳外还兼有携带天线、电缆，控制探测器以及操纵输气管等多种功能。系留气球的突出特点是可以停留在空中某一固定位置（非一点，而是一个较小范围）。这对特定地域的专题遥感研究是特别有利的。系留气球，或是由人工控制，或是用无线电地面遥控。

系留气球常按不同的用途，并根据风速、风向、飞行高度、时间、轨迹、有效载荷以及预期寿命等要求来进行设计。一般从形态上可分为三类：球形（风速<55公里/小时）、自然形（风速<30公里/小时）、流线形（风速限制较宽）。

系留气球在世界上普遍发展，进行了大量科学试验工作，并作为各种遥感器、气象探测设备、通信中继设备等的空中运载工具。

目前日本的系留气球已经发展到运用扫描仪对地面进行扫描，通过电缆传输，在地面实况显示。此外还解决了图象的几何纠正等问题。美国在新墨西哥州空军系留气球发射场运用电影经纬仪（cinetheodolite）和无线电遥测仪（telemetry）直接获得系留气球上（球体2800立方米、飞高2750米；球体8000立方米、飞高610米）探测器的测量结果。

2．应用实例

（1）美国利用系留气球摄影进行考古研究[13]。

气球摄影由于它比地面视距测量速度快，比常规航空摄影成本低，所以已多次被用于考古研究中，对那些经地面调查证实为重要考古区以及有希望地段进行摄影制图。如J.H.Whittlesey（1970）成功地运用系留气球摄影来绘制土耳其、希腊、意大利和塞浦路斯的考古遗址图。

1977年由美国芝加哥洛戈尔大学为主体，并有明尼苏达大学和纽约大学参加的Phokis—Doris考察队调查古代贸易和交通之路。这条路延伸60公里，沿着一系列山谷，并通过希腊中部山区最后到希腊现代城市Amfissa和Lamia附近。由于现有的各种比例尺图件不全，经费和时间又十分有限，于是考察决定采用无人系留氢气球进行non-metric空中摄影，以获得黑白和彩色两种有较大立体感的图象。调查区域大以及崎岖的山路给气球摄影带来一定的困难。所用的气球约21立方米，最大载重9公斤（其中照相机和无线电装置约5公斤，系绳和风产生的阻力约4公斤），采用了Hasselblad相机，飞行高度50—800米。由于飞行风速限于≤4节，故选择了清晨风较平静时发放，约到中午完成。每个站点飞两次得2个片种的图象。全路线需要多次发放迅速得到各站点摄影图。这些摄影图与1:5万的区域图对照使用，绘制出古代贸易之路图。工作中发现了一些新的考古点，评价了古道的利用情况，并为野外调查、定位以及进一步挖掘新考古点指出了方向。气球摄影使这项工作增加了空中摄影范围而没有增加成本，保证了考察任务按期圆满地完成。

（2）日本利用气球摄影系统进行摄影测量和遥感*。

为了对一个小区域（面积500米×500米到1公里×1公里），进行摄影测量和定时监测（如海岸带环境监测），发展了一个风筝式气球摄影系统。它附有旋转装置和一个

* S.Murai et al., Photogrammetry and Remote Sensing Using Balloom-borne Camera System.

无线电控制的频闪快门亚系统，用以进行垂直和倾斜摄影（其探视角控制在 ±15°）。系统中的气球 7 立方米，充氦气，载重 3 公斤，飞行高度 500—900 米，采用了一架广角 35 毫米相机，获得黑白、彩色高质量立体象对。图象需进行几何校正(包括焦距、原点位移、透镜畸变等)。利用三维控制点进行 Olimpus OM-1 的分析校准(选择了 41 个精度达 1 毫米的控制点）测定了内方位参数，用于定摄影方位和对地物进行三维测量。

通过一系列的测量计算，结果说明了一个风筝式气球 non-metric 摄影系统，在允许精度内可以做三维测量。

（3）我国利用低空系留气球多光谱摄影进行沼泽植物群落的研究[14]。

1980 年 9 月，长春光机所、长春地理所在三江平原对长春净月潭地区的草甸和敦化县黄泥河沼泽地作了小型系留气球的单镜头多光谱摄影试验。所用的探空气球约 4 立方米，载重 2 公斤、飞行高度 10—100 米，风速小于10公里/小时，携带了一架国产 135 相机，有一个能自动转换四个波段的滤光片转盘，一台 6 通道的无线电遥控设备，分别用全色黑白、彩色和全色红外黑白胶片，获得大比例尺（1：500）四波段的高质量象片，重叠率为 60%以上（完成四个波段拍摄需 5 秒钟)。

所获得的摄影图象通过影象密度值测定和假彩色合成，可以作出沼泽植物群落分布图，区分出香蒲、水芹、苔草等类别，揭示沼泽植物群落的分布规律，反映沼泽水文状况、微地貌现象，以及某些隐伏现象，如旧车道或伏流等。

此外，在选择最佳组合方案进行分类时，通过色度测量、色差计算，并求得颜色的主波长和纯度，为判读多光谱图象提供一种区别色差的形象而直观的方法，同时便于图象数字化处理。虽然此项工作尚不能确切定位，造成假彩色合成时的困难，尚需进一步改进，但是仍说明了低空系留气球完全可充当多光谱摄影的空中平台。我国东北多谷地、山间洼地、河漫滩沼泽，且分布零星，面积不大，不适于飞机航空摄影（从经费和分辨率考虑)，采用系留气球定点悬停摄影较为理想。

(四) 气球遥感的特点

1．技术简单，易被任何非专业人员操作。

2．安排试验灵活方便，周期短飞行次数可以很多，适于大面积的动态监测分析。

3．价格低廉，易于回收。由于仪器设备均可回收，每次费用仅几千元，比卫星少好几个数量级，比火箭也少得多。

4．填补了飞机和卫星之间的遥感平台空缺。它可将较重载荷带到 30—50 公里的平流层空间并具有平飘能力。这一高度，除软 x 射线外，对其余波段的空间电磁辐射都是透明与基本透明的。它既有近似于外层空间的实验条件，又没有完全脱离大气，因而有独特意义。

5．气球吊舱自由姿态较稳定，易于实现高精度姿控，并获得高质量摄影图象。

正由于高空气球具有以上的独特优点，所以国际上把高空气球又称之为“亚轨道卫星”，受到许多国家的重视。它也有一定的局限性，主要是受地域影响以及受气象条件特别是受高空环境风的限制。

参考文献

〔1〕R.N.Colwell et al.,Manual of Remote Sensing, American Society of Photogrammetry, 1983

〔2〕F.萨宾：遥感原理与解译，地质出版社，1980年

〔3〕J.F.Mccauley, Subsurface Valleys and Geoarcheology of the Eastern Sahara Revealed by Shuttle Radar, *Science*, Vol.208, 1982

〔4〕C. Elachi et al., Shuttle Imaging Radar Experiment, *Science*, Vol 208, 1982

〔5〕NASA.JPL., The SIR-B Science Plan, 1982

〔6〕C.Covault, Shuttle Plan Emphasizes Earth Survey, *Space Technotogy* 1984

〔7〕D.M.Askford, Remote Sensing of Earth Resources Using the Skylark Rocket, *British Aircraft Corporation*, Document nef.no.ESS/SS530, 1974

〔8〕J.R.Hardy, Skylark Recket Photography as an aid to Developing Countries, 1974

〔9〕R.B.Ridgway, J.R.Hardy, Skylark over Woomera,*Geographical Magazine*, 1972

〔10〕D.S.H.Drennal et al.,The Interpretation and Use of False-colour Infra-red and True Colour Photography of Part of Argentina Obtained by Skylark Earth Resources Reckets,*Proceedtng of The 9th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 1974

〔11〕C.M.Girard, M.C.Girard, Connaissance et Description de Régiorns Naturelles ã Partir de Photographies Prises de Ballons Stratospheriques,*Journees de Teledetection*, G.D.T.A.,1976

〔12〕G. Weecksteen, Quelques Exemples d'utilisation des Photographies—Ballon en Géslogie, *Journees de Teledetection*, G.D.T.A, 1976

〔13〕G.W.Johnson et al., Mapping an Ancient Trade Route with Balloom Photography, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1977

〔14〕王汝笠：沼泽植物群落的低空系留气球多光谱摄影实验，《地理科学》，第3卷，第3期，1983年

第五节 航空遥感的地学评价

谈到遥感，人们往往注意到卫星或高平台，而认为航空似乎比较落后和陈旧了。事实上，航天遥感虽然发展迅速，并不断地提高地面分辨率，但始终不能取代航空遥感。

即使发达的美、苏、法、日等国也都具有较完备的航空遥感装备。航空遥感仍有很大的潜力。它是遥感不可忽视的一个重要方面。

一、航空遥感的发展

航空遥感是由航空摄影发展而来的，是遥感技术的前身。航空摄影已建立起完整的理论体系、数学模型和几何光学原理，建立了完整的光学机械制图系统，并具有严格的规范精度指标。它已发展成为测绘行业的主力，在很大程度上已成为地形测图的常规作业系统。它的设备工艺和产品都已商品化，并具有明显的经济效益。

航空遥感技术的发展可以分为几个明显的阶段。20世纪初至中期，以低空-黑白全色摄影为主；第二次世界大战后，进入高空-彩色、彩红外摄影；50年代开始多光谱摄影；60年代进入卫星宇航摄影；70年代进入全数字化-自动成图阶段；80年代为航天飞机-大象幅-长焦距摄影。整个前进步伐是稳健的。

目前日本Asia等有30多家航空摄影公司；英国有Farly和Huntington两家约20架专用飞机，分别承担国际和国内经常性业务；墨西哥国家土地委员会的作业系统也是以7架航测飞机为骨干组成的一个国家公司。我国有民航、地矿部、煤炭部、空军和科学院等部门提供航空遥感服务。这些航空遥感机构进行着商业式的经营，可完成大量的生产任务。

我国航空摄影与航空遥感已有较长的历史，可分为三个阶段。

（1）30—40年代，德、日、美航空摄影技术的引进。在我国，第一次航空摄影是水利部门对黄河壶口的龙门瀑布的测量。此后航空摄影逐步取得进展。如在黄河下游花园口到河口地段、杭州湾地区均进行了多次航空摄影，为河道变迁、泥沙推移、海涂演变提供了宝贵资料。1945年，美国航空队对我国东半部进行了全面的航空摄影并编制成1:25万、1:100万的航空图。

（2）50年代中期，在苏联专家的帮助下，各部门（包括测绘、地质、水电、铁道、林业等）都建立了航空摄影测量队。由单纯航测制图到航空系统综合利用，即应用于森林管理、地质勘探等方面。

60年代初，陆续进行全色航空摄影测量，随之展开了航空象片的判读应用，曾对亚热带、热带山区进行土地利用、森林资源调查和系列制图试点，研究热带季雨林林相分析的可能性，查明发展橡胶和其它热带经济作物的上限（陈述彭等，1963年）。对山区新构造运动的地质动力学形迹如断裂、滑坡、泥石流现象进行判读与制图（林恒章等，1965年）。配合高山冰川考察，对许多著名高山，进行陆地摄影测量与制图，估算冰雪覆盖面积和融冰化雪的水源（曾群柱等，1967年）等。

（3）70年代航空遥感仪器的研制与应用实验。在这一阶段，研制成功了多光谱摄影相机、微波辐射计、多光谱扫描仪、红外扫描仪等一系列遥感仪器，并进行了如甘肃北山、新疆哈密、云南腾冲、长春、大连、胶州湾、长江口、珠江口等一系列遥感试验，取得了明显的技术经济效益和经验。

近年来，我国十分重视发展自已的航空遥感数据获取和处理能力。航空遥感的应用

也日益广泛。例如在黄土高原水土流失综合调查、三北防护林重点造林区的遥感调查、许多大中城市的环境遥感调查中均发挥了重要的作用。

我国航空遥感所使用的飞机，主要在民航、地矿部、科学院及空军等单位管理。遥感飞机分低空（3000—4000米）、中空（8000米）、高空（13000米）三种。我国的低空飞机主要有50年代民航引进的苏联里-2、伊尔-14，70年代地矿部购进的双水獭等；中空飞机有70年代民航引进的美国安-30、安-12；高空飞机有1985年科学院购进的两架美国奖状Ⅱ。此外还不断研制出轻型、超轻型、无人驾驶、航模等不同型号的小型专用飞机。这样，我国高、中、低空飞机配套，航空遥感平台和运载工具得以完善。

我国机载遥感仪器的研制已进入国际先进行列。在遥感仪器研制方面我们已有相当的能力。如上海技物所研制的多种多光谱扫描仪、高分辨率专题应用扫描仪，测绘所改装的大象幅多波段相机23-MSC(23厘米×23厘米)，航天所2048CCD电荷耦合阵列机已在我国尖兵卫星上试用，科学院电子所研制的合成孔径侧视雷达X波段的SAR地面分辨率达到10米。此外，上海技物所的4通道红外扫描仪、长春物理所的X波段微波辐射计等也都达到一定水平。我国在自力更生的基础上，又引进了一些遥感仪器，如瑞士相机RC-8、RC-10，西德相机RMK，美国的多波段相机、热红外扫描仪、多波段扫描仪等，使我国的遥感仪器不断得以充实和提高。

航空遥感仪器是航空遥感的技术基础。目前，航空遥感发展的一个重要特点是将各种在不同光谱段和以不同遥感方式工作的遥感仪器构成系列，在统一的控制系统操纵下，形成具有综合、全天候、全天时及机—地实时传输能力的航空机载遥感信息获取系统，以适应多种资源调查、环境监测及测绘制图等方面的要求。

以中国科学院高空遥感机载系统为例，系统包括：多光谱及红外扫描仪（0.4—12.5微米，8个波段以上；0.4—0.8及8—12.5微米，2个波段）、多波段航空照相机（4个镜头，可变波段、光学、机械及电气系统配套）、真实孔径测视雷达（8毫米，方位分辨率优于25米；3厘米，方位分辨率待定；多极化，磁带记录，地面回放处理）、合成孔径侧视雷达（多极化，分辨率优于10米，数据实时传输，地面成象及机舱显示）、微波辐射计/散射计(X波段，动态范围80—300°K，温度分辨率1°K，数据机上记录或实时传输）、激光测高/测深仪（脉冲间隔>5次/秒，测高精度±0.15米，测深精度0.5米，深度30米）、高分辨率专题应用扫描仪（即红外细分光谱仪，2—2.5微米，12个波段；8—12.5微米，6个波段；高密度数字磁带记录，瞬时视场3毫弧度，扫描视场60度）。

我国的航空摄影测量，包括航空象片解译和制图已形成一支相当可观的技术力量。地质、农林、铁道、水利、地理等方面都有自己的航测队伍，大部分把航空遥感列入了自己的作业规范中。解放35年以来，除青海、西藏外，全国1∶5万地形图已测完。青海、西藏地区进行了1∶10万测量制图，全国一些重点地区有1∶1万—1∶2.5万地图。所有图均为航空摄影测量而得。

事实上，目前各国均把航空遥感作为地学考察中十分重要的信息获取手段。这是由它本身的特点所决定的。

二、航空遥感的特点

航空遥感作为遥感立体观测系统中不可缺少的一部分，有其明显的特点。

1. 航空遥感空间分辨率高、信息容量大，主要服务于较大比例尺的区域资源与环境详查，以及解决工程技术上的具体问题，其经济与社会效益明显。

2. 航空遥感灵活、方便，适用于专题遥感研究。它可以根据用户的需求，灵活选择具有一定空间分辨率、波谱分辨率、时间分辨率的遥感信息，设计航空遥感飞行的方案和路线等。获得图象较为方便，成本不高。

3. 航空遥感历史悠久，自成体系，有多种传感器及相应的信息处理系统，并有30多年的科学储备。在英国海外部可以找到世界许多地区30年来的航空摄影复制片;瑞典有本国30年以来的航空象片;美国国会图书馆存有我国东部及亚洲地区1945年以前的航空象片，有自动检索和复制系统，应用于历史演变的分析研究，是些很宝贵的历史档案。我国解放前在黄河下游花园口—河口地区进行过9次航空摄影，解放后又进行了多次。这些多时相影象是研究黄河下游河道演变的重要依据。

4. 航空遥感作为实验性技术系统，是各种星载遥感仪器的先行检验者。美国宇航局有4架专用遥感飞机，用各种传感器在地面实验场上空采集不同数据，以检测仪器的功能。可以认为，一切星载遥感仪器都是以机载试验为前提的。

和其它遥感技术系统一样，航空遥感有其固有的弱点，主要表现在：

(1) 信息量太大。航空象片的空间分辨率高，信息容量大。这为图象处理、应用带来一定麻烦。

(2) 工艺周期过长。航空象片成图需要地面控制、野外考察、地面调绘等等，因而一幅1∶5万、1∶20万的地形图一般需要1.5—2年时间。所以航空摄影资料的提供不能适应需要。

(3) 航空遥感受天气条件的限制大，成象时间必须是白天和好天气。

(4) 由于大气散射的影响，降低了航空象片的反差比和分辨能力，且反射比的变化是以未标定的方式记录的，有碍于定量解译。

针对以上弱点，目前航空遥感有两个发展趋势：

(1) 向高空、超高空发展(高空指15公里以下，超高空指15—30公里)。使单一象幅的成图尽量满足于1∶1万或1∶2.5万图幅，减少外业工作，并向大象幅、多波段方向发展。目前单张象片成1∶1万图已不成问题，成1∶2.5万的也可做到，成1∶10万图在西德已成功。

(2) 建立航空遥感的数字化制图系统。计算机技术的应用可代替光学机械制图系统，即直接将高程与专题信息送入数据库。编制专题图可采用单象幅解译后，把边界线、类型进行编码。这比单象幅数字化简单得多，大大压缩了信息量。用此法做植被图，不经过成图阶段，数字化后直接进入数据库，以地图形式输出。有了数据库的支持，有了相应的自动检索系统，便可以逐渐克服航空象片信息量过大、使用不便的弱点。

三、航空遥感图象主要类型及其特征

（一）彩色红外航空象片

1．航空象片的几何性质

航空象片一般指航空平台摄影相机所获取的可见光及彩红外光学摄影象片。摄影图象多为地面的中心投影，即反射光线通过固定点（相机物镜中心）投射到投影面上。加上地面起伏、象片倾斜（近似垂直$\alpha<3°$）等原因，致使象点位移、比例尺发生变化，图象有变形。其位移规律：以象主点（即相机主光轴所对应的地面点的构象，也就是航空象片框标连线的交点）为中心，呈辐射状，越往边缘变形越大；地形起伏越大，变形越大。正地形（$h>0$）象点往外移；负地形（$h<0$）象点向内移。象点位移量$d=\frac{r\cdot h}{H}$。式中r为主距（距象主点的距离）；h为物体高度、地形高差；H为相机到地面的高度（近似于航高）。H越大，d越小，可见航空象片比卫星摄影图象位移量大。

同幅航空象片的比例尺（地面上两点间的距离与象片上对应两点间距离之比，即相机焦距f与航高H之比）是不一致的。通常说的是概略值，即象点附近的主比例尺。在进行量算时，可根据需要求出平均比例尺或任一局部范围内的比例尺。由于焦距和航高的变化，特别是航高变化大，使比例尺变幅甚大。一般可分为：大于或等于1：1万的称大比例尺；1：1万—1：3万的称中比例尺，小于1：3万的称小比例尺，1:10万—1:25万的称为超小比例尺。常用的是中、小比例尺。

航空象片的空间分辨率与其象片分辨率（包括镜头分辨率与胶片分辨率）及比例尺有关。对一个摄影系统来说，象片分辨率固定后，空间分辨率就仅与比例尺（f/H）相关。由于航空象片的比例尺变化幅度大，因而它的分辨率（即象片上能被分辨出的地面上两个目标的最小间隔）变化大，从几十厘米到几米。

航空象片的纵向（航向）重叠为60%，横向（旁向）重叠为20—30%。象片重叠则意味着在相隔一定距离的不同位置拍摄同一目标（存在视差）可构成立体象对，具有立体观测能力。

2．彩色红外象片的光学性质

彩色红外象片是一种具有红外信息特点的高分辨率遥感图象。胶片的感光膜是由三个乳胶层组成，片基以上依次为感红层、感绿层、感红外层。当目标反射0.5—0.9微米波长范围内的电磁波能量入射到胶片上时，其中的红外分量、绿光分量、红光分量分别使这三层乳剂感光，负片上分别呈青、黄、品红色影象，而象片（正片）上则又分别出现它们的互补色红、蓝、绿色以及它们叠加后的一系列间色、复色，增加了色相（图1-27）。同时，彩色红外胶片的三个乳胶层感光度不同，因而增加了色反差，使色彩更鲜艳、层次更清楚，地物对比更明显，微弱变化可以分辨。另外，彩色红外胶片去掉了天然彩色胶片的感蓝层代之以感红外层，并加上黄色滤光片，滤去了强散射的蓝光，使影

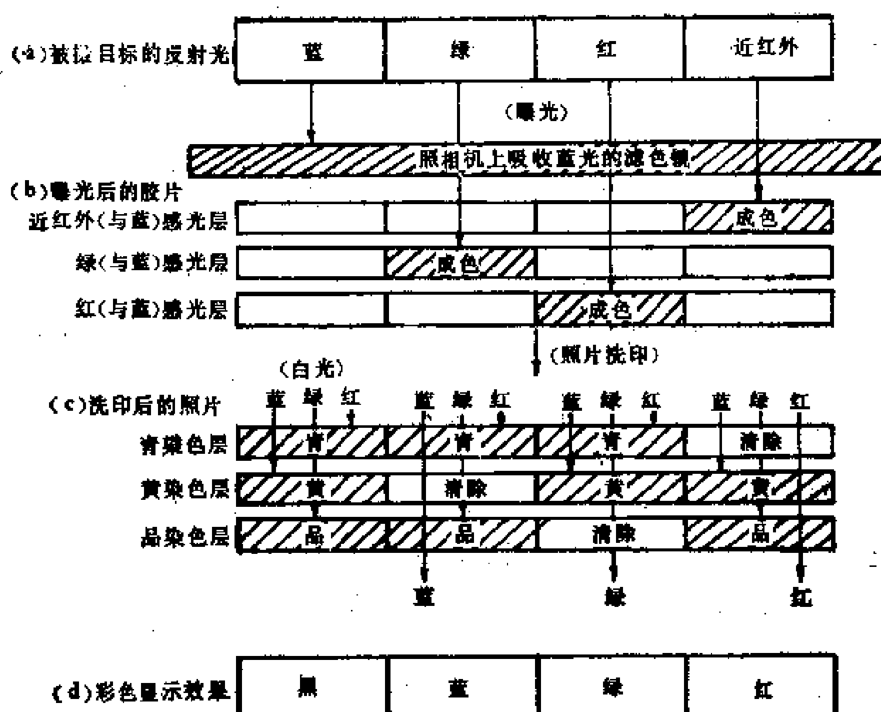


图 1-27 彩色红外象片的彩色形成(5)

象具有较强的透雾能力，胶片反差得以改善，影象清晰度提高，利于判读。

此外，彩色红外图象把感光范围从可见光扩展到近红外（0.7—0.9 微米），信息量比黑白图象及天然彩色图象均更为丰富。并反映了地物在红外波段的信息特征，而植物、土壤、岩石等均在红外波段反射率差异大，形成较大的反差比，更易于辨识。

地物在彩色红外象片上的影象色彩主要取决于它对红、绿、红外光的反射特性。如绿色植物叶子在光合作用中吸收了可见光中的红光、蓝光，仅反射 20% 的绿光，同时反射红外光。在正片上绿光呈蓝色，红外光呈红色，两者叠加合成品红色影象。但由于红外光的反射率比绿光反射率强 3—5 倍，故正片上的红色比蓝色多 3-5 倍，因而健康植物在彩色红外象片上多呈突出的鲜红色。绿色植物种类不同，对绿光的色差较小，但对红外反射率的差异较大，因而色彩有明显差异，红、蓝色的生成比例不同，影象色彩在红—紫之间变化。如水稻多呈暗红色、幼年作物多呈粉红色、旺盛生长期作物多呈鲜红色、针叶林呈紫红色、阔叶林呈红色等。而枫叶、红苹果等因反射红光、红外光，在正片上呈绿＋红的复色——黄色。水体强烈吸收红外光，并吸收红光，而反射蓝、绿光，在正片上呈黑＋蓝色的蓝黑色、蓝灰色。当水含泥沙或被污染时，则长波光反射增强，即较多地反射红光、红外光，影象色彩发生变化，发生蓝→青→黄偏移。因此，彩色红外图象对清水、浊水、污染水及土壤含水性等易于判别。居民点因房顶材料不同可呈不同颜色。如青瓦房反射较低的绿光而呈灰蓝色；红瓦房、新草房反射红光、红外光较强而呈淡黄色；旧草房反射率较低，而呈灰或深灰色等等。

遥感图象的影象色彩特征与地物光谱反射率的对应关系虽有一定规律可循，但是实

际情况是很复杂的，受多种因素的干扰。地物波谱是个变化值，它是因时因地而异的。此外，彩色象片的颜色不仅与感光材料、地物光谱特征有关，还与摄影条件、彩色处理过程（曝光量、显影时间等）关系很大，往往出现偏色等现象。因而，对彩色红外象片判读，既要利用地物影象色彩特征差异和它的反射波谱组合特征间的对应关系，又要结合时空变化规律、地面实况调查和其它资料进行分析判断，从而建立起该地区识别地物的判读标志。

应该说明的是，陆地卫星标准假彩色合成图象所采用的是 MSS 4、5、7 波段或 TM 2、3、4 波段，分别配以蓝、绿、红滤光片，显影后的彩色负片分别呈黄、品红、青色影象，彩色正片则呈蓝、绿、红色影象，它们具有同彩色红外象片十分相似的光学特征和光谱色彩。是我们在具体遥感应用工作中最常用的片种之一。

（二）热红外图象

从理论上讲，自然界中一切高于绝对温度 0°K（-273℃）的物体都向外发射电磁辐射，其辐射强度与物体的辐射率和分子运动的温度成正比。热红外图象就是这种辐射能量变化的一种视频显示。

热红外遥感应用的主要波段为 3—5 微米（中红外）和 8—14 微米（远红外），尤以后者最为广泛，用以作为温度测定与表面温度分布的探测。它不受光照条件限制，可以昼夜成象。

热红外扫描成象系统由光学机械扫描分系统、热红外探测器和图象记录分系统三部分组成(图 1-28)[6]。

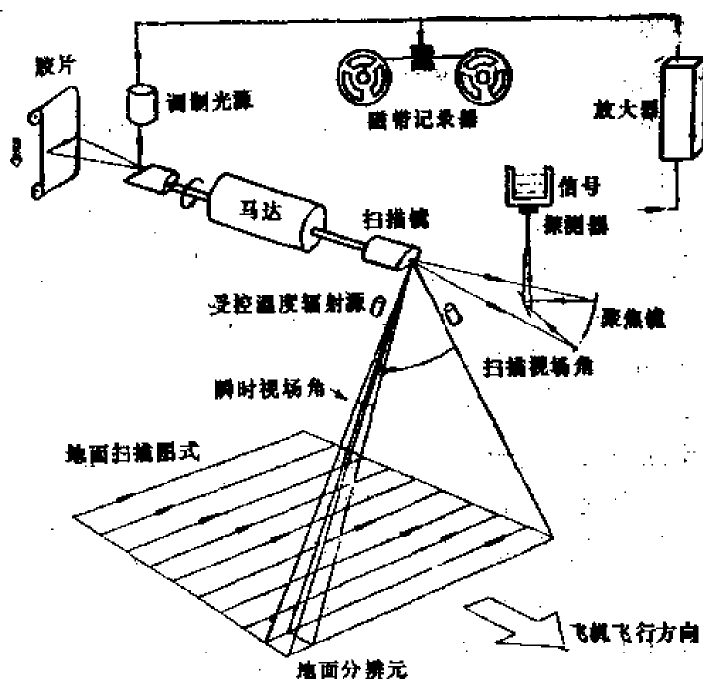


图 1-28　航空红外扫描成象系统原理图

热红外扫描所得的图象，是一种温度分布图象。图象色调浓淡与温度分布是对应的。浅色代表强辐射体，说明其表面温度高或辐射率高；暗色代表弱辐射体，说明其表面温度低或辐射率低。因此，利用热红外图象可以区分任何具有温度或辐射特征差异的不同物体。热红外图象与黑白航空象片虽然都是通过胶片上灰度的变化来记录的图象，但是两者有根本的不同。前者是通过半导体装置探测物体的热红外能量，胶片仅是一种显示图象的介质；而后者则是通过胶片上的乳胶探测物体的反射能量，并记录下来。

热红外图象的特点：

1. 几何畸变：扫描图象固有的几何畸变主要来自扫描成象系统本身（扫描镜旋转速度变化造成象点间隔的不恒定；弧形扫描与平面记录的不一致，使象点压缩或伸长等）以及飞机姿态变化（滚动、倾斜、偏航等）的影响。

2. 图象的不规则性：除扫描图象固有的几何畸变外，图象还受其它外界因素的干扰。如天气的影响，包括云降低热反差，雨产生平行纹理，风产生污迹和条纹状图式，冷气流产生不同形状的冷异常等；无线电波造成电子噪声带和波状云纹的干扰图式；图象处理中条件变化（曝光、显影等）或胶片质量等的影响，均会使图象出现一些不规则的假异常和缺陷。

3. 图象的温度标定：未标定图象的灰度只定性地反映相对的辐射温度差异。标定图象即扫描器内装有电热温度标定源（受控辐射温度基准源），从而使图象的灰度差异显示了定量的温度，其等级线便是等温线，并可以进行温度范围的细分处理，显示更细致的温度细节，以提高图象的温度分辨率。

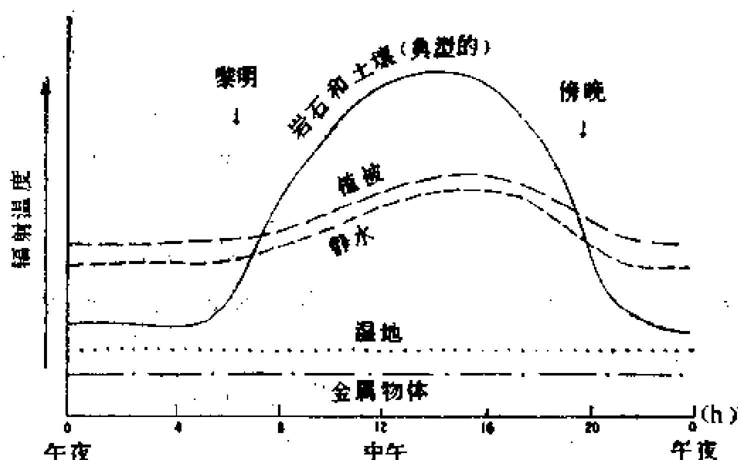


图 1-29 典型物质的周日辐射温度曲线

4. 热红外图象的成象时段：图 1-29 为典型辐射温度的周日变化。图中可见，黎明之前辐射温度相对恒定，多反映一日中的最低温度，午间为一日中的最高温。取黎明前约 2—3 时以及午间 2 时左右的数据。两者构成日交差最大值，反映出物体的热惯量，进行热惯量制图。图中还反映一日中最迅速的温度变化发生在黎明和傍晚之际。白天由于太阳照射和遮荫的热学影响，即日光效应，往往热红外图象上的地形影响得以突出，

而可能掩盖其它现象（如地质形迹等）。热红外图象可用于区域地质调查、地热调查、冰雪覆盖、环境污染、热漏失监测及各种自然灾害（如森林火灾、农作物病虫害、洪水泛滥等）调查。不同的应用目的，选择不同的成象时段。

（三）侧视雷达图象

侧视雷达是一种主动微波遥感系统。在我国高空机载遥感系统中已得到初步的应用。目前，主要是用于洪水监测方面，以其全天候、全天时获得高分辨率图象的能力体现了很大的优势。这一点上，其它遥感系统是无法相比的。它在地质找矿、构造分析、地形测绘、土壤湿度分析、水资源探测等方面的应用领域也是很广泛的。

侧视雷达作为主要的微波遥感技术系统，已是目前遥感技术与应用的研究前沿。我国的合成孔径、真实孔径测视雷达已成功地进行了多次应用飞行试验。当前，它们在进一步实用化、产品化、标准化的同时，正向多极化、多波段、实时数据传输与实时成象处理的方向发展，以便获得更丰富的信息，更好的满足广泛的应用需求。

侧视雷达成象的原理以及图象特点在航天飞机遥感中已作论述，此处不再赘述。

四、我国的航空遥感试验

为了检验航空遥感信息在地学分析中的可行性以及对我国地理环境的适应性，为了对各种典型地区进行专题或综合的资源详查或环境监测，从70年代以来中国科学院及各有关部门曾进行了多次航空遥感试验，均取得有效成果。下面仅就前期一些主要遥感试验为例，加以说明。

（一）自然资源遥感试验

1976年在甘肃北山地区进行过航空遥感试验。此次实验目的主要是为地质找矿，因而进行了铅锌矿床的追踪裂隙、控矿构造—环形构造的研究以及岩石性质的波谱测试。

1977年5月至11月，科学院与地质部合作在新疆哈密帕尔岗地区进行了航空遥感试验*。除了检验几种新型航空遥感仪器的性能外，主要进行富铁矿调查。分析岩石的微波辐射特征和控矿构造。研究白云岩矽卡岩铁矿脉的波谱特性与图象，以寻找由次火山侵入岩（闪长玢岩）与大理岩接触交代型的矽卡岩铁矿新矿点。

1979年8至9月在长春净月潭地区做了综合性航空遥感试验。试验中检验了几种新型遥感仪器的性能，进行了地物波谱特性研究及农林、土地利用分类、水稻长势分析，沼泽分类以及动态变化研究。通过试验发现了水库断裂漏水现象和古火山残丘；分析了水体不同悬浮泥沙浓度的光谱特征，选择了最佳分析波段，进行了水质、大气飘尘等环境污染监测。

1978年12月至1979年2月，中国科学院遥感应用所协同70多个单位，在云南腾冲

---

* 中国科学院遥感应用研究所，新疆哈密地区航空遥感试验，1980年。

地区进行了航空遥感综合试验*。覆盖面积约6300平方公里。除采用RC-10航空照相机及陆地卫星CCT磁带外，其余五种遥感仪器和七种胶片均系我国研制和生产的。试验目的，一是检验我们自己研制的航空遥感仪器（包括4波段摄影相机、9波段航空多光谱扫描仪、6波段红外扫描仪、激光测高仪，光谱辐射仪等）和记录材料（胶片、磁带）的性能；二是系统地调查腾冲试验区的自然环境和自然资源；三是探索遥感在科学研究和生产应用中的技术经济效益。应用试验主要包括五个方面，即地质应用、测绘制图、农林植被、水资源、空中试验。通过试验，共完成了75项专题研究。

（1）地质地貌应用

地质找矿：通过火山活动与湖盆沉积的发育模式解译，研究褐炭、泥炭中的铀矿、含铀炭质粘土等湖相沉积矿藏的形成机制和分布特点，进一步弄清它们的富集规律，提供找矿线索，扩大远景储量。如铀矿源可视为热源体。在红外图象上，含铀炭质粘土表现为光亮热红外异常，实测含铀量为0.07%。根据渗和成矿作用模式，结合这次对盆地成矿地质条件的新认识，确定了26个与成矿有关的因变量，对之进行综合统计、分类处理后，划分出3个一级成矿远景段和3个二级成矿远景段，经钻探验证扩大了储量。

更新地质图（1：20万）：修正了局部地层分布界线、接触关系和构造格局，通过地面验证对地质构造和地层有了新的认识。

工程稳定性分析：通过遥感图象对断裂错落体、滑坡、泥石流、岩溶等不良地质现象进行形态、大小、结构、发育条件、阶段稳定性以及分类等方面的判读分析，以进行铁路选线，不仅缩短了铁路里程、加快了工程进度，而且大大节约了工程投资，取得明显经济效益。

线性构造分析：利用航空象片分析区域地质和矿区地质概况，解决线性构造的空间关系、活动方式，划分地貌类型和火山构造等。

（2）水资源调查

根据凌晨5—7时，波段10.3—11.4微米的红外扫描黑/白记录胶片，在700平方公里范围内，共解译出泉水1052个，水库池塘268个，较大的井泉(包括温泉、热泉）90%以上，涌水钻孔70%，经过验证符合实际。并可直接判读出冲积扇、洪积扇、沼泽地、含水构造带等。也就是说，利用红外扫描图象，进一步查明了该地的地热资源，查清冷、热泉源的分布，地下水的通道系统，从而搞清河川径流同泉水、地下水的补给与消长关系，为充分合理地利用地热资源提供了可靠资料。

（3）农林植被调查

试验区位于云南省西部，澜沧江和伊洛瓦底江上游的亚热带山区，景观类型多样，生态环境复杂，再生资源丰富，且有深厚的风化壳和茂密的植被覆盖。自然环境的复杂性，给地面工作带来困难，而遥感技术却能发挥其特长。根据景观判读来推断土壤形成条件、森林立地条件、划分类型，并进行土壤、森林、植被、土地利用等方面的制图。过去林业部的有关规范中规定，森林材积量的估算要用13个因子，精度达89%。这次利

* 腾冲航空遥感试验总结资料汇编，1979年。

用彩红外航片，解译立地因子，回归估算森林材积量和评价宜林地可以仅用9个因子，精度提高到93%，并可通过彩红外的色散分析，鉴别森林的主要树种，建立林分数量化蓄积量表。根据地物波谱特性和遥感图象的亮度系数对土壤进行聚群自动分类，并对土地利用类型、植被进行了分类。

（4）测绘制图

景观制图：应用遥感资料进行景观结构的分析与制图，来综合反映各种自然现象之间的相互关系。

计算机统计制图：通过对大量统计数据（如面积、人口、农业现代化程度、生产水平指数等），以及通过遥感信息的分析判读得到的自然资源数据（如耕地面积、森林分分布、木材储积量、植被类型范围等），进行计算机处理、统计分析和自动制图，从而形象、直观地反映动态趋向，为管理、决策部门提供可靠的科学依据。

数字地形模型与地形分析：根据数字地形模型三维空间数据的分析，来绘制水系密度、地形地势、坡度等图件，并通过信息特征提取来分析区域内的线性构造、机耕坡度等。并用计算机绘制了腾冲地区的立体投影图，形象地重现了腾冲地区的地貌形态的特点。

系列制图：绘制出自然环境条件分析判读与资源评价系列图共25种，比例尺为1：10万—1：20万。

（二）环境遥感监测——多时相、多层次、多种传感器的航空遥感试验

1980年至1982年在天津首次进行了城市环境与生态遥感试验。此后，北京等城市也做了相应的工作。

（1）水污染监测

海河是天津的重要水源及外来客水必经之地。此次试验运用热红外遥感监测，查清出海河有23个热污染源和40个热排水口渗漏、偷排现象，并进行了分段分级评价。通过彩红外航片的判读分析，指出大沽口海面仍有污染，大沽口以有机污染为主，北塘河口以悬浮泥沙为主。同时发现南排污河的作用并未很好发挥，其污水又通过沿岸流回到大沽。石油平台也有明显的油污染现象。

（2）城市热岛效应

由于多种原因，如燃料热耗、大气污染、绿被率低、建设密度大等，使城市产生热岛效应。北京天安门一带温度高出郊区3°—4℃，祁家豁子高出2°—3℃。世界城市热岛效应最高的墨西哥城高出8℃。试验中进行了从下垫面热力景观结构分析热岛效应的尝试，认为天津常年热岛效应平均值为1℃，瞬时热岛强度可达7—9℃。热岛效应向郊区逐渐减弱，呈幂函数分布。

（3）城市绿化

天津绿被率低，全市仅11.65%，其中树木为6.12%。利用彩红外航空象片分区分类进行评价，编绘出1：1万绿地现状图。以树木活力状况作为大气污染的指示物，研究电厂、酸站、搪瓷厂、炭墨厂等的污染范围及扩散趋势。以菹菜群落分布为指示物，追踪

海河的有机污染源和渗漏源。编绘1：2.5万土壤盐分分布及动态图，作为背景值，指导绿化、果园、作物长势的鉴别手段。

此外还进行了车流量监测，用多道粒子计数器监测大气气溶胶以及土地利用、房屋密度等。这为城市环境生态的动态监测，城市发展建设提供了重要依据。

参考文献

〔1〕卡农公司图象研究室：遥感——遥感技术的发展及其应用研究，科学出版社，1983年

〔2〕F.萨宾：遥感原理与解译，地质出版社，1980年

〔3〕地质矿产部地质遥感中心：航空热红外遥感图象集，地质出版社，1988年

〔4〕中国科学院长春分院：长春遥感试验论文集，吉林人民出版社，1981年

〔5〕中国科学院遥感应用研究所：腾冲试验区——航空遥感图集，科学出版社，1981年

〔6〕中国科学院环境科学委员会等：天津—渤海湾地区环境遥感论文集，科学出版社，1985年

〔7〕中国科学院遥感应用研究所：彩色红外航空遥感技术在天津市土地资源调查中的应用，测绘出版社，1985年

〔8〕中国科学院遥感应用研究所：天津环境质量图集，科学出版社，1986年

第二章　遥感与区域综合分析

第一节　信息传递与信息相关

区域综合分析，指的是遥感信息的地学处理过程（Geo—Processing）。在这一章里将介绍几种遥感的地学分析方法。

遥感图象所显示的是某一区域特定地理环境的统一体。它是地球表壳的大气圈、岩石圈、水圈、生物圈以及社会生态环境的综合反映。无论哪一种遥感信息都不是孤立存在的，而是作为区域地理环境的一个有机组成部分表现在图象上。从信息论看，遥感提供的这种综合信息，不仅表现在它反映的地理要素——地质、地貌、水文、土壤、植被、社会生态等的综合，即地理环境是因时因地而异的地理实体，它是由互相关联的自然及社会现象所构成的；而且表现在遥感信息本身的综合，即它是不同空间分辨率、波谱分辨率、时间分辨率的遥感信息的综合。不同专业由于研究对象和研究任务不同，各自从不同的角度，运用不同的方法，从这一"综合信息"中各取所需，寻找与提取各自有关的专题信息，以解决各自的实际应用问题。要真正认识事物，并非遥感独家所能完成的。它需要将遥感信息、专业人员的知识信息，以及地面实况信息三者有机结合起来，进行综合分析和信息传输机理的研究，方能得到有价值的专题或环境信息。从系统论看，遥感数据所对应的地理环境应作为一个错综复杂的大系统来整体认识、系统分析。这个系统是多层次、多要素的，是不断运动变化着的。各个亚系统既相互独立又相互联系、相互依存的。要认识它们，不仅可以根据它们本身的属性，还可以根据它们之间的相关性来进行推演。从控制论看，人们认识自然的目的在于利用自然、改造自然、为人类造福。但是，人们在利用自然的同时，往往自觉不自觉地破坏了自然界的某种平衡，因而人们需要不断地认识自然规律，调节和控制自然。实际上，利用与改造自然的本身，包含了人们主观能动地控制自然，不断按人们的需求去协调自然界各要素的内外关系，纠正一些"偏差"，使它更好地为人类服务。这样看来，人们在利用遥感信息研究自己的生存空间时，必须应用信息论、系统论、控制论的观点来对待自然界的物体（即遥感研究对象），进行宏观上的综合。然而，综合是在专题分析的基础上进行的。它首先需要有个从个别到一般、从局部到整体、由此及彼，由表及里的认识过程。只有通过各项专题研究，认识了事物的发生、发展、演变规律，才可能提出综合应用和合理开发的方案、措施等。可见，专题分析是综合的前提，综合又是专题分析的必然结果。这就是遥感地学分析中必须遵循的辨证法原则。

遥感所获取的信息并非是自然综合体的全部信息，而仅仅是自然综合体里能在二维平面上表现的那一部分信息。遥感得到的图象都是瞬时的二维图象。仅仅从二维图象中

所能提取、所能识别的信息以及所能验证的信息要满足各个学科的需要是困难的。运用遥感方法来解决某些专题问题必须经历一个复杂的过程——数学处理、光学处理、地学处理过程。其中地学处理包含两个途径，一是把遥感未带回的信息再补充上去，即补充其它地学相关信息；二是依赖原有的二维信息以及这些信息间的相关信息，来分析推断出上面未反映的信息。这些都需要地学知识的支持。

遥感信息的解译过程实质上是从遥感图象中获取各种专题信息的过程。而专题信息提取的复杂性在于遥感信息是个综合信息，各种因素之间是密切相关的，要从相互交织在一起的综合信息中区分它们是很不容易的。

（1）光谱信息是遥感的基础。地物波谱特征是复杂的。它受多种因素的控制，而且地物波谱特征本身也往往因时因地在变化着。

这里以植物波谱信息的综合性与复杂性为例来加以说明。前面已分析过植物波谱信息的特征，这些特征是受多方面因素控制的。植冠的反射特性受三个因素的控制：一是植物冠部本身组分的光学特性；二是植物冠部的形态、结构；三是辐照及观测方向。而这三个生理物理因素又依赖于叶的类型、生长阶段以及环境因素的影响。

无腹背叶肉差别的单子叶植物与有腹背叶肉差别的双子叶植物，叶子内部结构差异大，造成反射率差别明显，特别是在近红外波段。植冠的结构（即单叶或多叶），多次反射、透射，总反射率随叶层的增加而增加。

作物在不同的生长期具有不同的光谱特征。叶子生长过程中，叶绿素含量增加，叶肉细胞间隙数增加，可见光反射率降低，而近红外反射率升高。当叶绿素含量增加到一定程度后，吸收率几乎处于同一水平，故植物在生长旺季较难区分。衰老的叶片，由于叶绿素逐渐消失，叶红素和叶黄素将在叶子的光谱响应中起主导地位，因而叶子变黄或变红，可见光反射率大幅度升高，而近红外反射有所下降。

张仁华等人（1984）在山东禹城遥感高塔实验场的九块“井”型方田里，用两年时间对小麦、玉米、大豆、棉花四种主要农作物进行了整个生长期较频繁的观测，运用各种作物的反射光谱结构、绿度转换图形、绿度时间剖面曲线等动态遥感信息和它们的变化规律，来建立多时相特点的鉴别模式，进行作物识别。他们还对不同土壤水分含量的小麦地进行不同生长期的作物波谱测试来探求作物反射光谱与土壤水分之间的相关性，为作物生态指标的定量表达提供依据。

实际上，植物波谱不应该理解为植物的生理波谱，而应是个环境波谱。土壤是植物的背景，是野外植物光谱的组成部分。植物覆盖率一般达30—70%，那么测得的光谱数据信息还有30—70%是来源于土壤本身。土壤湿度对一个地区的光谱影响显著。土壤湿度增加，其反射率立即明显下降，这在1.45微米及1.95微米水吸收带反映得尤为明显。因而，经灌溉或降雨后的植物光谱降低很多，其中重要原因是在于土壤光学性质的改变，而植物本身波谱效应的影响相对小得多。此外，当土壤中有机质含量增加，土壤反射率从0.4—2.5微米都明显下降。土壤中氧化铁含量的增加也导致可见光反射率的下降。路边的树由于受到污染，叶绿素降低。以上现象均可以通过各种实验场地，进行长周期、定点、定时地观察、监测、波谱测试及水分、有机质等含量测定，从大量数据中寻找其

相关性，为作物生态指标的定量表达提供依据。

柯拉（Jaakkola，1980）野外及空中光谱测定表明，在平坦地面不同树种的纯林和不同蓄积量的林相都可能有明显的光谱差异，这种差异之间的统计相关不明显。在地面起伏的山地，同一种覆盖类型的反射率是太阳高度角、坡度及坡向的函数。一方面它影响着植物叶的反射层数，另方面阴影及土壤的反射率影响程度不同。太阳高度角越低，在同一坡度范围内反射值的分异越大。实验证明，由于地形效应，同一覆盖类型在MSS 红波段可以有 52 个不同的辐射值。为了使测得的植物光谱有价值，则必须在测定植冠光谱的同时，测定其坡度、坡向、太阳高度角及方位角，从而可以获得某种修正模式作为所记录的辐射数据的订正系数。

Reichert（美国）在不同航高测定树木光谱反射曲线，这些曲线由于受大气干扰而发生不同程度的变形。大气传输记录下的辐射数据与地面、空中测定的反射值相比可以差异很大。即使建立起一些地面光谱数据与图象数据之间的数学修正模式，那也只适用于一时一地，而不可能得到一个“放之四海而皆准”的统一修正模式。或者说，很难获得作为模式输入的各种大气参数。

植物是多时相变化最敏感的要素，一般说来，当以年或季节为周期的环境能量平衡变化时，植被也随着发生滞后数日、数周或数月的变化。不同物候阶段的植物光谱特性是不同的(图2-1)[1]。从图中还可知，春、冬季植物的红外反射率是递增的，尤以春季为甚；夏、秋季植物的红外反射率是递减的，尤以秋季为甚。冬季植物红外反射峰消失，因此冬季影象不宜于判读植物。

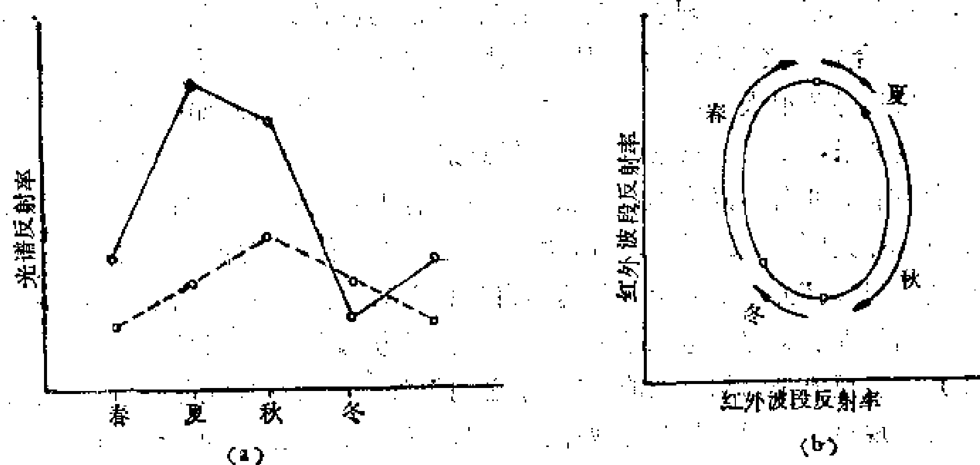


图 2-1　植物光谱反射率的季节变化

Marshall D. Ashley 研究二个不同波段影象的归一化密度比值，能消除太阳高度角不同而产生的倍增效益（multiplicative effects）对影象密度的干扰。这一比值随着叶群的发展而增高，随着叶子的衰落而减小。它更能代表植物的季节变化。以上分析说明，植物光谱信息是和许多因素密切相关的。如果忽略了对其它环境因素的相关研究，植物波谱研究也就失去了实用价值。

（2）同一地物（景观单元）在影象上，由于它的地理区位不同，表现形式不一；而表现形式相同的，也未必是同一现象或地物。即存在着“同物异谱、异物同谱”现象，使解译结果不是唯一的，具有不确定性。因此，必须在识别专题信息时，把它与区域地理环境联系起来，进行综合分析，探索专题目标本身的规律以及研究其周围的环境条件，从而揭示专题目标的发生、发展和空间分布规律，找出事物的内在联系。

同类岩石的风化程度不同，同类土壤的水分条件与作物生长不同，同类居民点的自然历史经济条件不同，它们的表现形式是不同的，在遥感图象上的反映受到许多条件的制约。云南腾冲地区的最新玄武岩，便有四种表现形式：

- 玄武岩（最新）
  - 未经风化　　呈黑灰色
  - 经风化
    - 未成土　　铁质淋滤，呈红色
    - 成土
      - 无植被　　发育耕作层，变黄色
      - 有植被　　呈深绿色

即使是同一种岩石，在指定环境中它可以得出多种不同的信息。那么，在腾冲地区地质图上表示玄武岩分布时，就得考虑这四种信息，把它们均归入玄武岩类。同类的花岗岩在北方与南方表现也很不一样，有的球状风化而呈风景区，如鼓浪屿等；有的则呈坚硬陡峭的山峰，如黄山风景区等；华南地区花岗岩风化壳可达40—60米，又呈现出另一派景色。

不同类别的芦苇、竹、甘蔗在陆地卫星MSS图象上往往有相似的表现，而分不开；阴影中所包含的内容很多，但很难提取出来。可见，要能鉴别出哪些是同一现象的不同表现，哪些又是不同现象的同一表现，它们各属哪一类，是不易的。

（3）对地物识别依赖于它们的光谱（亮度、密度）、形状、大小、纹理结构等影象特征。然而，目前计算机图象处理主要还是靠波谱记录的色调或亮度信息，依据它们的数字运算和统计组合分析来进行解译识别，而对信理识别较差，更缺乏对机理的深刻认识，因而成功的机遇并不很大，带有一定的随机性、偶然性和片面性。如陆地卫星MSS四波段的正负片共8张，若用三原色（或间色）任意组合，二张一组合可有168种不同方案；三张一组合可有336种不同方案，四张一组合可有1680种不同方案；若重复一次滤光片则有5040种不同组合方案，再配以白光组合可达58800种，成功机遇率小，浪费大。所谓“自动”识别、“自动”分类实际上并非达到自觉和主动。所以在遥感图象分析中，把区域与地理实体的结构等信息综合考虑进去以及人工智能方法的介入，应当是今后的发展方向。

（4）地表现象是错综复杂的，各要素之间的关系可以有多种类型。有的具明显规律性，如地带性规律、植物季节变化规律、地貌发育从幼年期到老年期等均有一定规律；有的具随机性、不确定性，如旱涝灾害、森林火灾、河流建闸引起上下游环境及水文条件的变化等，有的具有模糊性，存在过渡渐变关系，如自然地带、气候带呈过渡关系，内蒙草场类型是渐变关系等。地物及地表现象本身有着各种复杂关系，这为影象解译增添了不少难度。

理解了遥感信息传递过程的局限性和遥感信息之间的复杂相关性以及它给遥感解译与专题信息提取带来的困难，就会自然地懂得在遥感图象解译过程中，进行区域综合分析的必要性。从整个遥感—处理—应用的信息传输过程可以看到，遥感图象信息所反映

的地理环境的综合性与复杂性以及遥感信息本身的综合特点，决定了遥感信息单纯数学、物理处理结果具有不确定性或多解性。为了提高解译结果的正确性与可靠性，地学知识的介入是必不可少的。实际上，这就是建立一个遥感分析的专家系统的知识基础。遥感地学分析方法正是在这一背景下确立起来的。其目的在于把地学分析与遥感图象处理方法有机结合起来，一方面可以扩大地学研究本身的视域，提高对区域的认识水平；另一方面可以改善遥感分析、处理、识别目标的精度。

参考文献

〔1〕S. Tanaka, Multiseasonal Data Analysis and some Extensions for Environmental Monitoring, *Proceeding of The 11th International Symposium on Remote Sensing of Envrionment*, Vol.I, 1977

〔2〕M.D.Ashley, Seasonal Vegetation Difference from ERTS Imagery, *Photogrammetrie Engineering and Remote Sensing*, 1975

〔3〕张仁华：黄淮海地区主要农作物的光谱结构与时相分析方法，《地理研究》，第3卷，第2期，1984年

〔4〕邹尚辉：遥感影象多时相分析在土地专题研究中的应用——以湖北浠水实验区为例，《地理科学》，第4卷，第2期，1984年

第二节　区域综合分析的传统方法

遥感地学分析方法并非是各种地学方法的重复。它有其独特的一面，将在下面介绍；但是，正象遥感需要认真研究许多地学知识一样，遥感地学分析也需要引用地学分析的一些常规方法，如区划方法、相关分析法、环境本底法、主导因素法等等，而且赋予这些方法以新的内容。

这里我们先介绍几种区域综合分析的基本传统方法。至于区划方法，在遥感地学分析中也被普遍应用，并充实以新的内容，我们将在本章第八节中专门论述。

一、地理相关分析法

在一定的区域范围内，地理环境中的各种自然景观、地理要素之间存在着相互依存、相互制约的关系。它们构成了一个统一的整体——地理综合体。其中包含着广泛的能量和物质交换。往往一种事物的存在，反映着另一种事物的存在，一种现象可以揭示另一种现象。地面自然综合体在遥感图象上的影象本身就是综合体内各环境因子的综合反映。某一专题目标，如土壤、植被的遥感影象特征，无疑受到其它因子，如地形、地质等的影响。它们的相互关系是密切的。在遥感图象分析、专题特征提取过程中，充分考虑这些因子的特点、相互关系是十分重要的。所谓地理相关分析法，就是研究某个区域地理环境内各要素之间的相互关系、相互组合特征。而它应用于遥感地学分析，便是通过对这些因子特点及相互关系的研究，从各个不同的角度来分析、来推导出某个专题目

标的特征，也就是在遥感图象上寻找与目标相关性密切的间接解译标志，从而推断、认识目标本身。比如我们对某一要素进行分类，往往这个要素在图象上并非很明显，而和它相关的其它要素可能在图象上表现得更明显点。那么，考虑到区域内各要素相互组合特征，可以通过某些相关要素来推断出所要研究的对象，或者在分类时充分考虑到这种关系，从而提高分类精度，避免错误。这就是遥感运用地理相关分析法的涵义。

为了取得较好的遥感分析效果，在相关分析中，首先要考虑与专题目标有关的主导因素。当主导因素在遥感图象上反映不明显的情况下，可以进一步寻找与目标有关，且在图象上反映较明显的非主导因素。研究它们与目标的相互组合特征，从而确定专题目标的空间与属性分布特征。不管怎样，在进行某一专题目标的相关分析中，无论是采用主导因素或非主导因素，都要求它们在遥感图象上有相对更明显的显示，或通过图象处理更易于提取出来。

下面就主导因素分析方法与非主导因素相关分析方法（简称相关分析法）分别加以说明。

（一）主导因素分析方法

一个地区自然环境的特点是由自然和人为综合因素决定的。在多种因素中，又会有一、二个起主导和决定作用的因素。我们分析一个地区的遥感图象，提取某个专题特征信息时，应当先找出它的主导因素。对于不同的目的，其主导因素是不同的，同一目的中，不同等级的分类系统主导因素也可能不一。

下面是进行主导因素法遥感分析的几个例子。

1．土壤自动分类[1]

一般认为自动和可靠的土壤识别技术不能完全基于遥感多光谱分析。这是因为植物覆盖、大气条件、传感器的稳定性以及太阳角度引起的数据噪声都直接影响到多光谱资料识别土壤的精度。另外，农田耕作活动的差别、地表地形起伏等也明显地改变着表土的光谱辐射通量，造成光谱分析法识别土壤的混乱。再说，光谱分析法也不能把地表形态这个相当重要的成土因子作为识别土壤的特征因子。航空象片目视判读，虽能识别某个特定的土类的多种成土因子，但常规法只能定性而不能定量，显然精度不够。于是，人们探求如何在这些复杂众多的因素中选择关系密切的特征性因素作为遥感资料自动分类中的直接/间接指标。土壤是岩石的风化物在生物、气候、地形等因素综合作用下形成和发展的。它是各种因素的综合反映。那么，应用传统土壤分析与现代遥感及计算机处理技术相结合的综合分析方法便可以识别出各种成土因子（如植被、地表温度、湿度、水系和地形）以及土类的地面信息（如土地利用、质地、光谱特征），再加上环境信息（如地区的气候、地质历史等）。并且可以通过它们之间的相关关系进一步区分出土类中的细小差异，识别出土壤的类型。这里介绍的方法是把地形因子作为影响土壤的主导因素来考虑的。根据数字地形数据计算出的定量地形因素，往往是遥感自动识别土壤，建立遥感直接／间接标志的前提，也是地学领域从定性描述向定量化发展的关键。因而美国农业部提出了一个运用遥感资料的数字化地形数据所计算得到的定量地形因素来自动

识别土壤类型的系统方法。这种方法在于成功地描述了地形的几何特征。它包含有五个技术问题：

（1）选择变量。建立一组能单独地或组合地用于描绘地表形态几何特征的数量因子。这些因子要能够反映出它与土壤类型间的相关性。

（2）建立数字化地形数据（即数字地形模型DTM）。数据的采集可以从摄影测量制图仪（如B型测绘仪、立体测图仪等）直接输出，也可以用人工采样的方法得到。

（3）建立数学分析模型。即建立从数字地形资料计算出这些地形因子所适合的计算技术。

（4）确定不同土类的数量地形因子。选择样区计算出不同土类诸地形因子的平均值。

（5）发展统计决策技术。建立基于土壤的数量地形因子和从遥感收集到的数据对土壤加以识别和分类的统计方法。

美国伊利诺斯大学土木工程系仅从地形与土壤发生、形成的内在联系出发，把地形数量因子作为土壤分类的唯一指标，而未利用任何土壤本身的指标，对土壤进行自动分

表 2-1 本试验包括的土壤组合

土壤组合	母质	植被	地表颜色	分类		典型底土层
				美国公路协会分类	统一分类	
A	黄土，厚1.2—1.5米	高草原	暗	A-6	CL	粉砂壤质黄土
G	中等质地物质，厚0.6—1.1米，位于砾石上	高草原	暗	A-2-4	GP	砾石与砂
I	黄土，厚度小于0.9米，位于壤质冰碛土上	高草原	暗	A-6	CL	壤质冰碛土
J	中等质地物质，厚度小于1.2米，位于粉砂粘壤质冰碛土上	高草原	暗	A-6	CL	粉砂粘壤质冰碛土
K	中等质地物质，厚度小于1.2米，位于粉砂粘质漂洗物上	高草原	暗	A-7-6	CL	粉砂粘质冰碛土或冰碛物
L	黄土，厚度大于1.2—1.5米	森林或森林高草原混杂分布	中暗至浅	A-4 A-6	ML CL	粉砂壤质黄土
Q	黄土，厚度小于1.2米，位于伊利诺斯期漂洗物上	森林	浅	A-6	CL	壤质冰碛土 粘质冰碛土
R	黄土，厚度小于2.1米，位于基岩风化壳上	森林	浅	A-4 A-6	CL ML	砂岩
X	砂，细砂，壤质砂或壤质细砂	不定	浅或暗	A-2-4	SM	砂

类的试验。它们选择了10个样区，包含有9种不同的土壤组合类型（按质地、颜色、发育程度及土壤的天然排水能力进行分类），每种土壤组合用代号表示（表2-1）。运用11项地形因子。其中地表几何特征地形因子6项(平均坡度AS、平均坡度变化MSDC、粗糙指数RI、地形高程比ERR、地势SR、高程偏差SV)，水系特征几何因子5项(水网密度DD、崎岖数RN=局部高差×水网密度、河网分叉度BA、结构T、平均河谷深度MVD)。这些数据是从美国地质调查局1：2.4万或1：6.25万比例尺的地形图和航空象片上获取，并加以运算。样区大小在1：2.4万地形图上为10厘米×10厘米，高程按间距为5毫米的格网形式获取。这样一个样区的地形起伏用400个数据点表示，水系数据用一系列的点数字化记录其直角坐标的x、y值。然后计算出各类土壤组合在10个样区中各地形因子的平均值，进行单变量方差分析。经统计运算发现各类土壤组合中显著不同的那些地形因子。在此基础上，建立自动分类的树状程序表（信息树），用已知土类的数量地形因子作为定量指标，对遥感采集到的数据进行有步骤地自动分类。也就是说，图象的数据分析是利用经预处理后的影象数据，结合环境中具有特征意义的定量指标，建立数学分析模式，发展统计决策，进行某一专题要素的自动分类。从图2-2中可

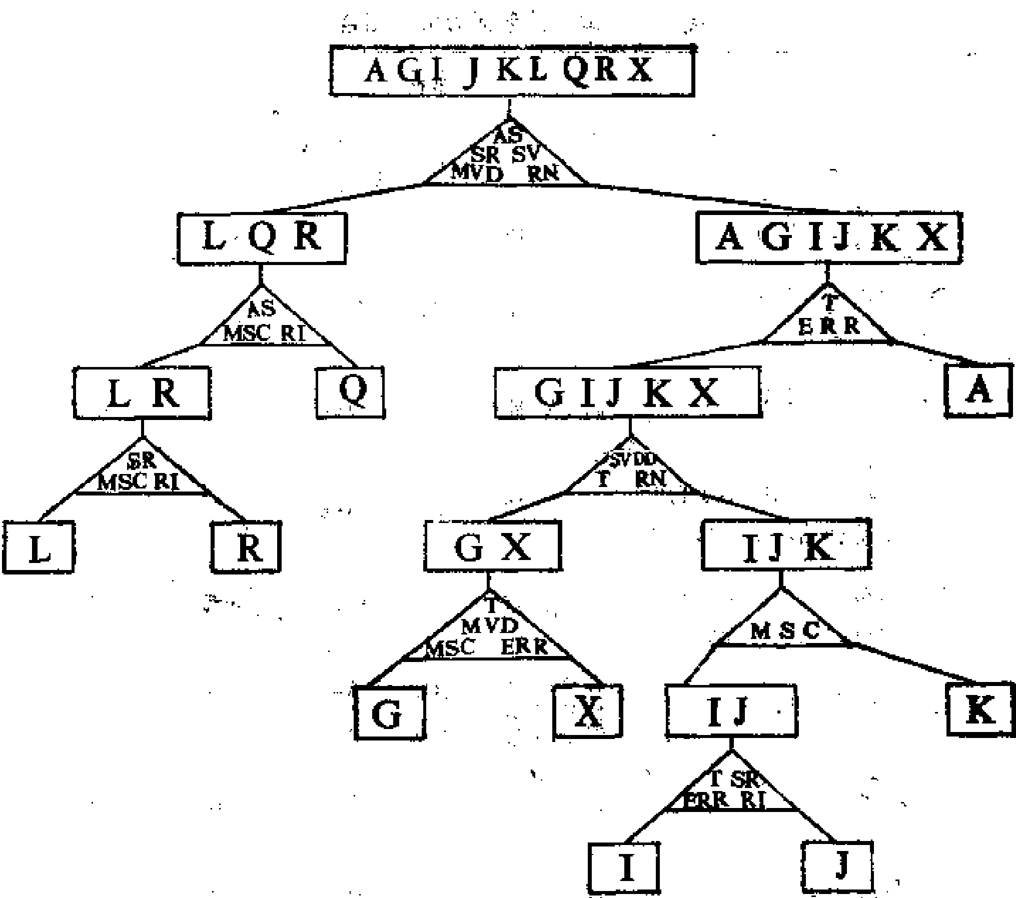


图 2-2 土壤自动分类的地形标志

见，若根据5个参数仅可分出两群。若用11个参数一步步分下去，在同一层次分类中可运用不同指标，在不同层次内可用同一指标，最后9类土壤组合均可分出。各地形因子在土壤分类中的有效性，是通过现有详细土壤图、地形图和航空象片来检查的。实验结果表明，这11项地形因子中，相对地形与河网密度对于区分土壤母质最为主要，正如Strahlev(1950)早已指出的“地形与水系是控制景观几何特征的两个主要形态参数”。其它要素的效率指数与顺序见表2-2。

表 2-2 地形因子的效率指数与顺序

代号	名称	自动分类效率%	顺序	单位
AS	平均坡度	0.12	5	%
MSDC	平均坡度变化	0.17	9	坡度变化/英里
RI	粗糙指数	0.15	8	
SR	地势	0.12	4	英尺
SV	高程偏差	0.09	1	英尺
ERR	高程比	0.18	10	
DD	水网密度	0.10	2	英里/平方英里
BA	河网交叉度		11	度
T	结构	0.11	3	分叉/英里
RN	崎岖数	0.17	6	
MVD	平均河谷深度	0.14	7	英尺

试验研究的结果清楚地表明，在某些特定地区，采用从数字地形资料计算出的数量化地形因子作为唯一指标，而不用土壤本身的任何指标也可以区别出土壤类型和土壤特征的颇小差异。

2．黄淮海平原土壤分类

运用遥感图象进行黄淮海大平原上的土壤分类，主导因素分析应考虑两个方面：一是环境成因上的主导因素，即土壤主要受地貌类型的制约。山缘是洪冲积土，平原是冲积土，沿海是海积冲积土。二是影象上反映出的主导因素。本区地貌的形成又与“水系”密切相关，黄河的多次改道决口以及频繁泛滥，对形成本区岗、坡、洼相间的微地貌形态起着决定性作用。因而不难看出：水——造成水系变迁——产生平原微地貌——影响地下水的分布与埋深——影响土壤的形成过程与盐渍化，出现“岗旱、洼涝、二坡碱”的规律——影响到作物、植被的分布。所以对该地区自然环境起决定因素的是水。那么，对该地区进行土壤遥感分析时，应充分利用地下水所传递的信息——地下水的变化引起的土壤表层湿度和盐度的差异变化，选择干旱的土壤返盐季节的遥感图象，同时选择对水反映最敏感的红外与微波波段。

3．苏北滩涂分类[2]

苏北滩涂从海堤往外可以分为草滩—盐蒿滩—泥滩—粉沙滩四个带。在遥感图象上可以清晰地显示出它与海岸基本平行的条带状图形。这四个带是由于潮汐作用强弱、位置高低、成土先后、物质粗细、植物覆盖种类等综合因素形成的。但其中潮汐作用为主要控

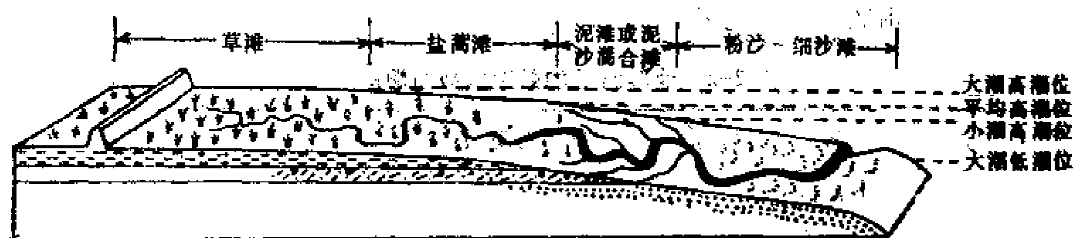


图 2-3 苏北滩涂分类

制因素（图 2-3)。正因为潮位的差异，海滩受海岸水动力作用的时间、强度不一，各带的含水性、含盐度、物质组成、受水浸泡的时间等均有差异，这才导致了成土作用及植物覆盖程度与种类的不同。抓住了潮汐作用这个主导因素，选用遥感图象进行滩涂分类时，必须要把握住低潮时刻，并选择对水的微弱差异反映敏感的波段图象。同时，图象处理方法也应该把重点放在突出和提取所确定的主导因子的专题信息上，这样才能取得较好的效果。

4．内蒙植被分类[3]

植被是各种环境要素综合作用的结果，但在一定条件下，其中必定有对植被极敏感的主导因子。在内蒙植被分类中，地貌是作为植被分异的主导因素。由于地貌的形态和地面物质组成具有明显的几何形态和光谱特征，可以从卫片上直接解译出山地、丘陵、高平原、河谷、沙带等。因此，根据这些地貌形态和光谱特征及其它相关信息，不难确定植被结构特征和生态序列组合状况，并确定其边界。如线叶菊草原一般分布在山地丘陵 300 米以上的山顶，在一定区域内可以根据山丘地貌影象相应部位勾划边界。林缘草甸的内部分异可根据地貌形态作解译，如沼泽化五花草甸分布于森林草原区的高河滩、山坡下部，典型五花草甸分布在山地林缘阴坡，草原化五花草甸分布于平缓的阳坡地……

（二）相关分析法

确定某一专题目标的相关因子取决于对这一区域自然与人文环境特征的深刻认识。但在某些区域条件下，专题目标与其它的环境因子之间的关系可能更为复杂，往往难于直接找出明显相关的因子。在这种情况下，进行各因子的数量化统计分析，确定有明显效果的相关变量是一种有效的途径。

下面分别举例说明。

1．鄂北变质岩系地区地质找矿[4]

该区变质岩系地层广泛出露，地质构造较复杂，岩浆活动频繁强烈，矿种多矿化普遍。在对这一地区进行地质找矿时，与成矿有关的因素较多，关系复杂，一时难以判断

出最主要的相关因子。于是在现有物化探、地质、地震等资料及卫片线性影象特征解译成果的基础上，进行点群分析数理统计的处理，以求得各地质作用因子与成岩成矿的内在相关与制约的数量关系，从而寻找有希望的矿区、矿点。

具体做法是：首先把整个地区格网化，划分了161个网格单元，每格代表1000平方公里的实地面积。其次确定与找矿有关的相关变量。变量的选择是重要的，并非变量越多越好，而是要选择与所研究的问题有较密切关联，又具有较强分辨能力的变量。这是决定点群分析成果好坏、显著与否的重要因素。这里选用了45个变量。并把这45个变量归纳为八类：线性影象特征密度、矿床矿点密度、航磁异常、岩浆岩（分三类：中性、中酸性、酸性）、地层、地震参数、化探异常元素、重砂异常元素。第三步变量测定。即对每个格网作45个地质特征变量数据的测定。因为这些变量均有相应的专题图，所以测定并不困难。统计得出每格的变量平均值。最后进行统计分类。按各点的相似性程度的大小，逐一把它们归类成群（图2-4）。

各类不同变量组合R型点群分析的结果说明，成矿作用与线性影象断裂复合构造及其与岩浆活动、沉积变质等地质、物化探特征的内在成因联系。当相似性统计量的相关系数较小时（r=−0.2），仅能把各类不同组合的变量归为分类级别较高的二大类，一是与成矿有关的变量，一是与成矿无关或关系不大的变量；当r=0.25时，可将各类不同组合的变量分为既独立，又紧密相关的10类，其中2类与成矿关系密切，其余关系不大。关系密切的2类，一是矿床矿点密度与岩浆岩、航磁异常、化探、重砂异常密切相关；二是线性影象特征密度与航磁异常、地层、岩浆岩、化探、重砂异常密切相关。通过分析得出初步结论：断裂构造起着控岩控矿的重要作用，与成矿关系最为密切。岩浆岩（以中酸性为主，中性、酸性次之）的侵入是成矿过程中的内在主导因素。太古代、元古代变质岩系地层的广泛出露亦是造成普遍而广泛具有强弱不同矿化的有利地质因素。高的航磁异常和主要成矿元素的化探、重砂异常反映了与成矿有关的地球物理—地球化学特征。而地震所表征的深部构造与成矿的直接关系不很明显（为成矿后的地震构造）。在Q型点群分析中，尽管数据处理方法各异，但聚类结果仍相似，取得了较为合理且符合客观实际的成矿区单元（分四类），每个单元又进一步划分了成矿条件不同的地区类别级序（图2-5），指出了值得深入工作的地带，为战略找矿服务。

2. 鲁西北地区土壤识别*

土壤分类与水盐动态直接相关。在旱季（3—4月份）黑白卫星图象上，滨海—内陆过渡型重盐碱土一般表现为白色斑块。在遥感图象上惠民县李庄一带表现为黑灰色斑块（图2-6）。从微地貌上看，它位于徒骇河与黄河之间，三面被黄河决口扇所包围，很象是地下水位高的扇间洼地，可能属洼地—潮土这样一种相关组合。但是对照9月份的假彩色合成象片，这儿并非呈红色，而为绿色的荒地。也就是说，它不符合“洼地-潮土-红色大田作物”或“洼地-鲜红色芦苇沼泽”的相关组合。通过进一步的工作证实，它符合“地下水位浅-缓平坡地-荒地-盐碱土”这一相关组合。正因为它紧靠黄河、

* 张林泉，许学工，试论环境遥感图象专题解译中区域地理因素的综合分析，1982年。

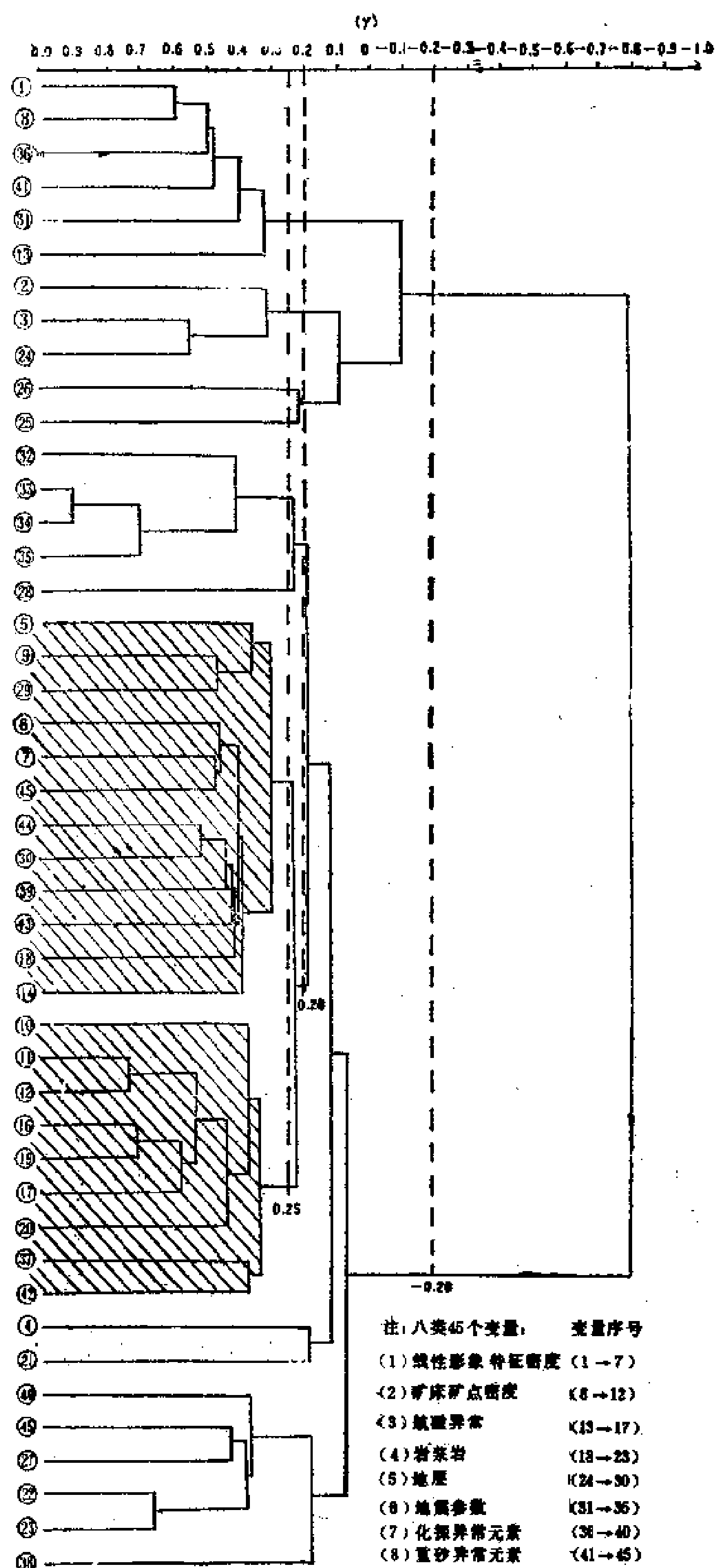


图 2-4　八类 45 个变量 R 型点群分析谱系图

II—7

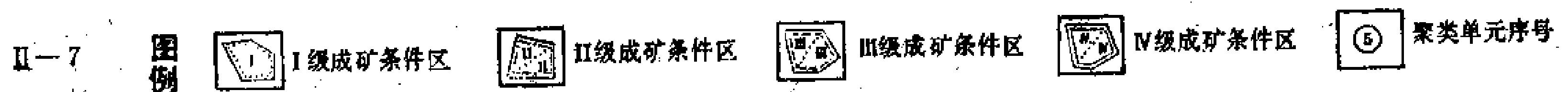


图 2-5 鄂北变质岩系地区线性影象特征与地质物化探特征点群分析成矿条件分类图

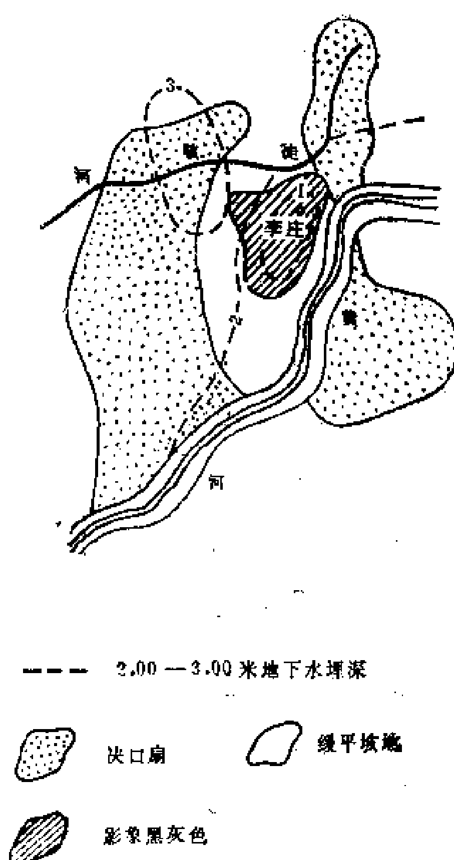


图 2-6

徒骇河，河水侧渗作用使其地下水位高，水盐上升呈重盐碱土。又因土壤中含有大量吸湿性较强的氯化镁、氯化钙，常年呈潮湿状态，因而旱季卫星影象上仍呈明显的暗色调。这类盐碱土称卤碱，当地称之为“黑油碱”、“万年湿”。

很明显，在某些情况下，完全不同的色调可以代表同一地物，而完全相同的色调又可代表不同类地物。在鲁西北的旱季影象上，色度相近的白色，可以由于所处的地貌部位不同、地下水埋深各异以及其它相关特征的区别，而区分出两种不同的土壤类别（表 2-3）。

表 2-3

影象色调	区　位	地貌部位	地下水埋深	土地利用	地形图特点	地　名	土壤类别
白　色	徒骇河 马颊河	缓平坡地 洼地边缘	浅，<2-3米 毛细现象 的临界位	荒　地	大面积范围 内少居民点	以盐窝、 碱场、洼 为多	重盐碱土
白　色	现代黄 河沿岸	决口扇、 三 角 洲	深，>3米	林　地	沙地或绿林 地符 有居民点	以岗、坨、 丘为多	沙　土

以上例子说明，尽管地物在影象上反映是复杂的、受多种因素影响的，但土壤与某些环境要素之间的相关性与组合特征，使我们有可能通过相关研究来识别出它们。

3．铀矿、金矿普查〔6, 7〕

研究国内外铀矿空间分布的规律，表明主要铀矿产区均位于巨型褶皱系中的中间地块发育区内。我国内蒙东部位于西伯利亚与华北地块之间，系内蒙地槽系的组成部分，北临古老的中蒙边界中间地块。从地壳演化的特征表明，燕山期花岗岩及酸性火山岩发育

素的迁移富集超出植物所能适应的范围时，就会引起植物生态的变异，从而出现植物组合、植物密度、植物长势等明显异常，可能使一些植物种属消失，而出现另一些特有种属。遥感图象可以获得这种异常发生的时间、范围、强度等的有用信息，利用植物光谱特征的变化，可作出植物异常图，再结合地面调查、采样分析、钻探证实，追根求源，不仅可以寻找到矿源及新矿化带，而且可以研究植物分布与地下矿化带之间的关系等，为进一步找矿服务。

我国内蒙白音都兰含油凹陷，为一个埋藏很浅的油气藏[9]。其埋藏最浅的白垩系含油沙层距地面仅90米深，油层总厚度达70米。由于油气的扩散或运移能力，造成在陆地卫星MSS图象上的圆形色调异常。植物反射光谱测定表明，在圆形异常圈内有较高值，边缘出现最高值窄带，外围是较低值。比值分析而出现的边缘陡变现象与MSS-5图象上色调异常的清晰边界相对应（图2-7）。这是由于植物被烃类逸出而出现中毒现象

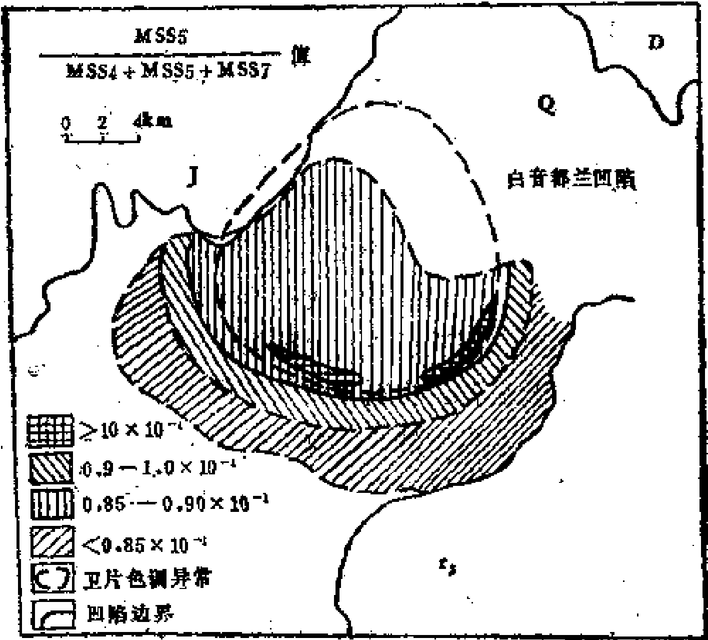


图 2-7 光谱比率等级

所引起的。羊草、冷蒿、针茅的全植株灰份分析表明：在圆形异常圈内微量元素Cu、Zn、Mn、Ni均有明显增高，其中又以Mn增高最为显著。石油地球化学勘探中，土壤气测结果证明：色调异常圈内有明显的重烃（乙烷、丙烷、丁烷）气体异常；土壤沥青分析结果，沥青A含量在异常圈内为50ppm以上，在圈外为35ppm。

遥感图象的圆形色调异常与植物光谱异常、植物微量元素异常、地表石油地球化学异常以及与油气藏均相对应（图2-8）。这反映了其内在的成因联系。这正是地下石油的地球化学作用影响的结果。油气扩散出现了一系列的异常现象，并在遥感图象上得以明显的反映，研究这些环境本底与环境异常为遥感找油提供了一条新路。

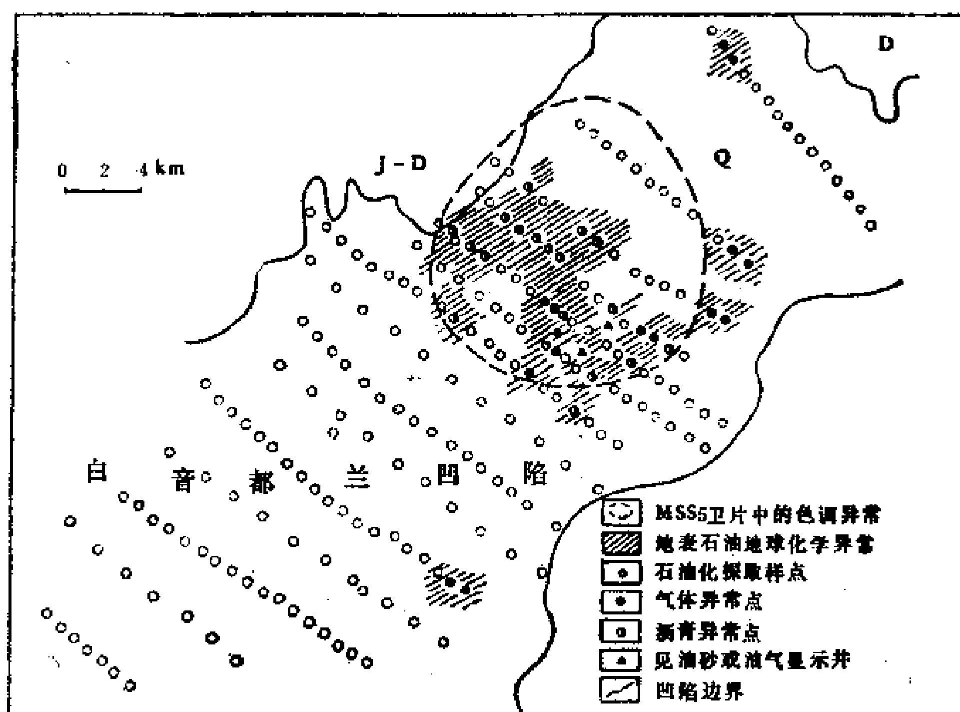


图 2-8 遥感图象的色调异常和地表石油地球化学异常之间的重合关系图

图2-9反映了铜矿脉的生物地球化学标志[2]。它说明植物密度的异常和表土化学元素的异常，揭示出其本质在于铜元素的富集，铜矿脉的存在。

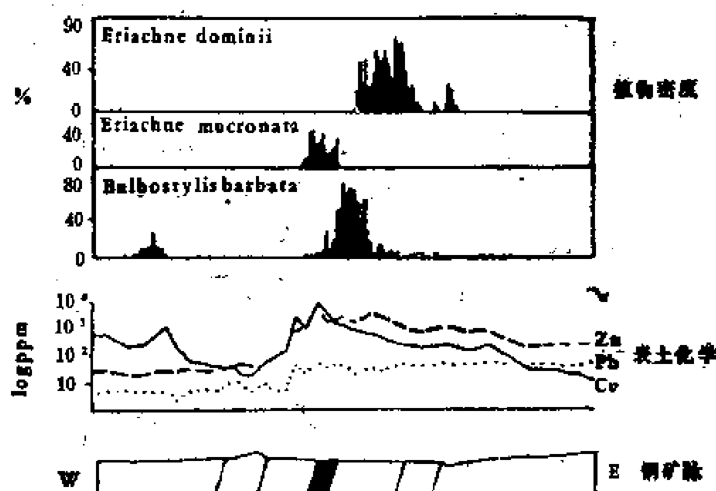


图 2-9 铜矿的生物地球化学标志

通过环境本底法来发现异常，确定某些特殊条件下出现的专题目标。它还常用来寻找和确定环境污染（如酸雨）和病虫害对森林植被造成的损害范围与程度。通常这些植被损害区域，在彩红外遥感影象上不难把它们与其周围的正常植物区分开来。

热红外图象可将下垫面的热力状况，以图象的形式展现出来。其中一种是利用地物的热惯量的差异，研究地物的分布；另一种是寻找热源体、热异常。因放射性矿物所辐射出的射线，经介质吸收后可转变为热能，因而铀矿体可视为热源体。地热异常也多与新生代活跃的火山、岩浆作用有关，它往往伴有热泉、热液矿床出现。此外，由于地温超过了植物生长的正常温度，而常伴有植物异常。热红外图象上所反映的热异常，不仅

标志着巨大地热能源的存在，而且往往也揭示出成矿存在的可能性。

澳大利亚海尔含煤盆地为一隐伏向斜构造。它是由二叠纪的含煤地层组成，露头甚少，多被不厚的沙土层覆盖。地表下含煤地层的某些微弱的热效应，通过热红外遥感图象上的热异常反映出来。同时，在盖层不厚的地区，下伏煤系的辐射特性能通过盖层的土壤、植被特征间接地反映出来，而形成了一种煤系—风化土壤—湿地—相应植被的综合影象异常。这些异常在夜间成象的热图象上，均表现为暗色调的冷标记。它不仅反映了下伏煤系的存在，而且显示了其展布形迹。在确定了煤系影象识别标志的基础上，对未知区进行预测，找到了新的含煤区。

参考文献

〔1〕K.W.Wong et al. 用遥感数据自动识别土壤，遥感技术在土壤和水资源研究中的应用，科学出版社，1981 年
〔2〕郑威：资源遥感的信息特征，《遥感信息》，第 3 期，1987年
〔3〕曾泗弟等：陆地卫星影象《海拉尔幅》植被图（1：35 万）说明，内蒙古草场资源遥感应用研究（一），内蒙古大学出版社，1986 年
〔4〕周志强：鄂北变质岩系地区线性影象特征与地质、物化探特征的点群分析，《冶金遥感地质》，第 1 期，1983 年
〔5〕何仲琦，郭景陶：遥感在内蒙东部铀矿资源调查与规划中的应用，遥感在规划、管理和决策中的应用与发展论文集，测绘出版社，1985年
〔6〕石连汉，周存中：遥感信息与黄金资源预测，（同上）
〔7〕罗修岳：遥感找矿基础研究之一——生物地球化学标志的地面调查与分析，海南岛航空象片判读文集，测绘出版社，1981 年
〔8〕陈传霖：内蒙白音都兰凹陷植物反射光谱和油气藏的关系，遥感文选，科学出版社，1981 年
〔9〕于维新，章申：滇南富铜景观的生物地球化学特征，《植物生态学与地植物学丛刊》，第3期，1983 年

第三节 分层分类法

一、分层分类法的概念

在自然界，地球表面的景物表现出复杂多变的特点。而且，由于许多环境因素的影响，如大气传输方面，地面覆盖条件的变化等，在遥感影象上景物的特征与组合是多变化的，其可分性与不可分性也是时刻在变化的。人们不可能利用一个统一的分类模式来进行区域景物的识别与分类。要认识这些变化的固有的内在联系，也就是成象的机理，牢靠的地学知识与有素的训练是必需的。处理这种景物高度复杂性的重要方法是了解某个特定区域范围内景物中各种类别的总体结构。如图 2-10[1] 用信息树的形式，表示地球资源类别中的分级结构。显然，通过这种总体结构可以清楚地看到不同类别之间的相

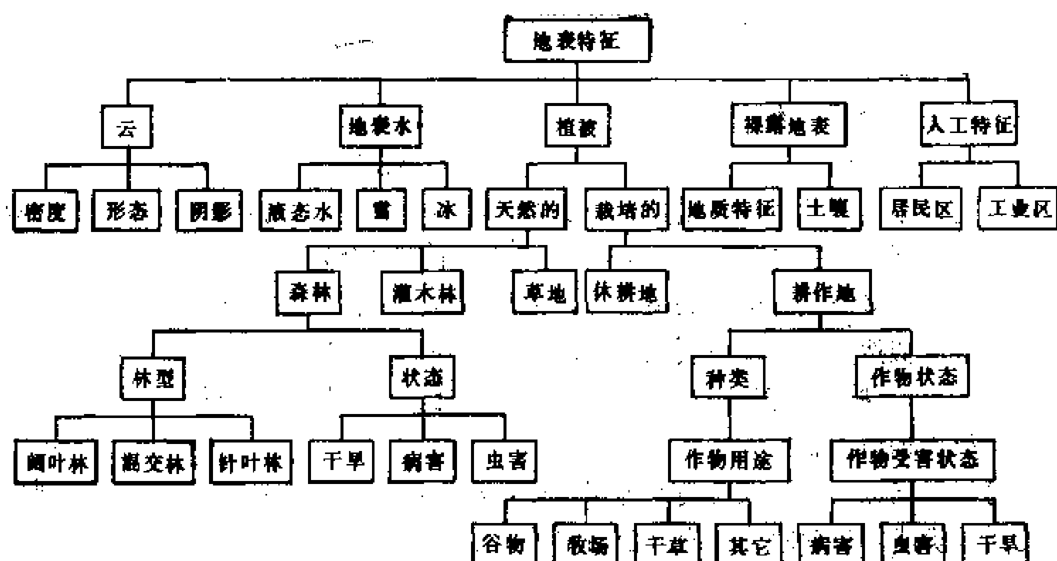


图 2-10 各种地球资源类别的典型信息树

互关系。

这种信息树应符合以下要求：

（1）表达的类别在各层次中均无遗漏。

（2）各类别都必须具有信息价值，即必须与识别的地物有关联、有意义，在分类中能起到作用。

（3）所列类别必须能通过遥感光谱数据处理方法得到区分。

当然对于某一景物来说，同时满足上述三个条件的信息树可有多种可供选择的方法，不同的人考虑问题的角度及理解程度不同，可以建立不同的信息树来描述景物，也可以根据特定的目的把信息树中最感兴趣的部分描述得更详细，所建立的信息树为各种类别的光谱可分性提供了比较直接的证据。但一个较成功的信息树的建立，应当保证各结点上所列类别在遥感光谱可分性方面具有更好的体现，以保证分类精度更高。

遥感分层分类法就是根据信息树所描述的景物总体结构来进行逐级分类。实际上是按总体结构特征建立分类标志或设计分类器，对图象中的各象元进行若干次判别分类，以得出最终判别结论。也就是先按照信息树的第一级所列出的类别进行分类，然后按照信息树的分支继续进行下一级的分类，直到信息树的最终结点上的类别判别出来为止。

遥感的分层分类法，又可称为多阶分类法。它与常规传统分类法所不同的在于，它不仅是按层次一步步地分类，而且在层次间不断加入遥感与非遥感的决策函数，从而组成一个最佳逻辑决策树。也就是用传统的地学方法和概念，按现在的信息传输和信息相关体系建立信息树。由于信息并非都能从遥感图象上得以反映，因而在建立信息树的过程中，必须不断地补充其它资料（如一些边界条件、分类参数等），以逐步满足某种分类的需要，最后完善这个最佳逻辑决策树，得出满意的分类结果。

归纳起来，分层分类法的特点是：

（1）用分级逻辑判别的方式使人的知识及判别思维能力与图象处理实现有效的结合，避免出现某些逻辑上错误的分类结果。例如，不至于将位于某一块农田中间的象元划分为草地等类型。

（2）运用分层分类法时，由于复杂景物经一定原则作了层层筛选，或者说层层分解，被简单化了。因而在信息树的各个中间结点上只存在较少的类别，并具有较好的可分性。这样可以根据具体情况分别采取有针对性的分类方法，包括特征选择和分类算法。针对较少的类别，往往可以使用较小的特征集，并采用更合适的分类算法。例如，在不同结点，采用不同多波段组合数据来分类，或在某些结点甚至加入地形数据复合处理等。并可采用最大似然分类方法或其它方法。这样，一方面可以提高信息提取能力和分类精度，同时还可以减少计算处理的时间。实践证明，这一分层分类方法在遥感数据分析工作中具有很大的潜力。

信息树所能进行的深入分类的等级程度，与选用的遥感信息类型，包括空间分辨能力、光谱分辨能力和时间分辨能力密切相关，也与遥感应用分析人员的水平有关。

二、分层分类法的应用实例

（一）美国印第安纳州（Indiana）Pigeon河地区湿地分类[2]

过去的研究多是应用陆地卫星 MSS 多光谱数据，用最大似然法对淡水湿地进行植物分类。然而，低位湿地与高位湿地往往植物类型相似（如高地硬木、硬木沼泽），光谱特征相似，而常发生混乱。光谱数据与土壤及其它辅助资料相结合的分层分类法，可以改善湿地的分类结果，有效地区分低位湿地植被与高位湿地植被。根据以上情况，美国建立的一个分类系统，采用陆地卫星 MSS 数据和土壤信息来对印第安纳州 Pigeon 河地区湿地进行分类，共把沼泽区分为农业、高位沼地硬木、针叶树、浅沼泽湿地、深沼泽湿地、水体、灌丛沼泽、硬木沼泽等 8 类。

具体步骤如图 2-11 所示：

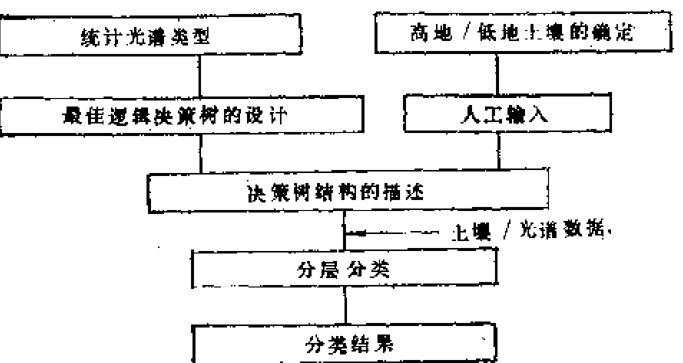
1．训练区统计光谱类型

训练区光谱特征的统计分析，首先是在各波段作直方图，选择波段直方图中适宜区波域进行波谱统计分类的预研究，包括均值、方差，等统计分析数据的计算，其次是各波段、波段组合对地类可分性的研究。其目的在于了解光谱特征，为确定可区分的类别以及选择区分类别的最佳组合方案作准备。

2．最佳逻辑决策树的建立

在对区域充分了解以及对光谱特征统计分析的基础上，确定区域内不同类型进行区分的最佳波段组合，设计湿地分层决策树。决策树由人工输入判断与计算机自动分类组成。

首先输入关于高地、低地地形部位的信息。高地、低地地形部位的不同导致土壤排水条件的差异，也造成沼泽湿地类型的差异。因而，这一条件的提供补充了植被类型相同的湿地识别所需要的信息。高、低地土壤界线数据由近期土壤图格网数字化给出。数



覆盖类型	分层贡献%	单层贡献%	混淆优势
①农业	87.3	81.7	②＋④
②高位沼地硬木	63.7	70.5	①＋④
③针叶树	26.3	0.0	①＋⑤
④浅沼泽湿地	27.9	26.7	①＋⑥
⑤深沼泽湿地	57.3	62.7	①
⑥水体	87.8	87.8	③
⑦灌木沼泽	27.7	34.0	⑧
⑧硬木沼泽	65.9	0.0	②

框图序程析分层分 11-2 图

字化后的高地、低地土壤界线叠置在MSS数据上。从逻辑树结构图看，数字表示实验有关的光谱通道数，节点的符号表示各种信息类型。一般经过3—4个层次的分类，各类别便可区分出来。如第四层可分出ACCC和ADCD表示针叶林，第三层可分出AAA、ABA、BAA、BBB表示水，AEB、ADCA表示高地硬木，AEA、BEA表示浅沼泽湿地，BBC、BCCC、BCCB、BDCD表示深沼泽湿地，BDBC、BDCA表示灌丛沼泽，BEB、BDCA表示硬木沼泽。

3．分层分类

在根据训练区分析建立的逻辑决策树基础上，对全区进行分层分类。采用的是最大似然的算法。也就是在进一步划分的系列中，对各未知样品，利用最大似然决策函数，根据其对各已知类型所属的概率大小分别划入不同的类型。

4．分析结果的输出

从分析结果可以看出，高地硬木（AEB）与硬木沼泽（BEB）因光谱相似，在"单阶分类"中分不出来。可是在波谱的基础上，增加一个"高"与"低"的地学概念，综合陆地卫星MSS和土壤数据，进行多阶分类，便立即可以区分出来。这提高了图象的识别能力，可信度从单阶分类的71.7%提高到多阶分类的84.3%，可区分的类别也从9类增加到8类。

（二）腾冲地区植被分类*

腾冲地区位于亚热带山区。气候湿润、植物茂盛，地面基本全覆盖，植物分布在水平及垂直方向上均有差异，这给植物分类带来一定的难度。但是，尽管植物种类复杂多样，每种植物群落仍有它自身的生态系统，抓住它内在的规律性，就可以从杂乱无章中理出头绪来。

对这一地区彩色红外航空遥感图象进行植物分类时，首先根据植被-地貌相关的特点，与一级景观单元（山地、高原、盆地）相对应的，也可把植被分为三大类，即林地，草地、耕地。它们在色调、形态上都有差异。

山地-林地 ╲ 不具明显的线性延伸条纹 ╱ 影象色调不一
高原-草地 ╱ 没有明显边界 ╲ 影象色调均匀
盆地-耕地——具明显的线性延伸条纹和明显边界

遥感判读标志的建立以生态系统为背景。在具体分析中，又分别建立了五种直接判读标志和五种间接判读标志。

1．直接标志

（1）色调。光谱差异、群落内密度不同、高度变化，都可引起色调不一致。林地与草地、针叶林与阔叶林由于反射光谱强弱差异，在彩红外片上反映出叶绿素含量多寡而引起的红色色调的深浅不一，均匀度也有差异。

（2）群落的影纹结构。耕地具明显的线性延伸条纹，而林地、草地都不具备。针

---

* 王绍庆，遥感信息在编制植被图的应用，1979年。

叶林影纹单一，常绿阔叶林影纹复杂。

(3) 树冠的形状及大小。有的较为一致，有的不一致。针叶树多为圆锥形，阔叶树多为椭圆形、卵形、半球形，乔木树冠颗粒大，灌木树冠颗粒小。

(4) 投影形状。

(5) 高度。乔木高，灌木低等。

2. 间接标志

(1) 海拔高度，常为分类界线。如禾草草地，在海拔1800米以上的为矮禾草草地，1800米以下的为高禾草草地等。

(2) 地貌部位。如低中山灌丛，在干燥缓坡段为常绿灌丛，而在极干的陡坡则为有刺灌丛。

(3) 地理位置。它决定了水热条件的变化。如常绿阔叶林的木荷，在腾冲县城以南，以峨嵋木荷等为主；以北，以银木荷为主。

(4) 岩石和土壤母质。灰岩成壤多分布草地，花岗岩、砂页岩成壤多分布常绿阔叶林。

(5) 人类活动。人造森林多以木荷为主的常绿阔叶林，天然森林以栲、石栎为主。

若仅用波谱特征分类，只能分出10多种植物便难以再分下去。但是，若根据上述的这些判读标志，并加入一些辅助参数来建立信息树，这样分层分类，便可以分出10个层次，40多种植物类别（图2-12）。

从图上看，茶园、橡胶、红花油茶三者的边界条件同属于“明显的线状延伸条纹，且边界不分明”。但在第3层次中，按颗粒大小可将颗粒小的茶园从中提出；剩下的二种可在第4层次中加入高程因素区分开来，其中高程小于1000米的为橡胶，高程大于1000米的为红花油茶。再如水稻与旱作，从边界条件看，前者色调均匀、边界清楚，后者种于坡地上色调不均、边界不清。对于相同边界条件的属种，再加入高程因素，则得出大于1600米为单季稻，小于1600米的为双季稻。而零星分布的边界不很整齐的旱作中，小于1000米为甘蔗，1500—2000米以玉米、薯类为主，大于2000米以乔麦为主。山区的“立体农业”单纯用波谱特征是难以进行分类的。试验证明，甘蔗、水稻、竹林波谱曲线均反映叶绿素丰富，谱型甚至绝对值均近似，只能根据生态组合以及它的差异指标与共生指标来划分建立信息树，方能取得较好的分类效果。

(三) 辽河平原土地利用分类*

运用TM磁带记录的光谱信息，进行计算机自动识别分类试验。先对试验区TM各单波段及各组合波段的地类可分性值（或称分散度）进行大量计算分析，以确定可区分类别及最佳的波段组合方案。结果认为用TM 1—7各单波段数据，把地类归并为9类的可分性较好。用最大似然分类法进行分类，总分类精度达96.8%，其中辽河河道、水田、低湿洼地和林灌草地等四类的分类精度都达到99%，仅坡旱地、滩旱地和居民点的分类

* 戴昌达，TM在辽河平原土地利用分类中的应用试验，1986年。

腾冲地区植被分类

- 1 不具明显线状延伸的影纹
  - 色调均匀
    - 色调较深
      - 4 暗灰—黑灰,有一定树高 → 云南幼松林
      - 暗灰,树高不明显 → 旱性杂草地(蒿为主)
    - 3 色调不深
      - 较浅
        - 灰色,2200—2500米 → 禾草草甸
        - 5 浅灰色
          - 湖泊周围,环状分布 → 泥炭藓沼泽
          - 1600—2200米,不呈环状 → 禾草草地
      - 4 很浅
        - 浅灰 1800—2200米,林间空地 → 矮禾草草地
        - 5 灰白 <1800米
          - 1300—1800米 → 高禾草草地(黄背草)
          - <1300米 → 干热河谷草地(扭黄茅)
  - 2 色调不均匀
    - 林冠形状大小一致
      - 树冠色调很深
        - 树冠长卵形,边缘不明显,光秆 → 旱冬瓜林
        - 5 非长卵形 黑灰、灰黄
          - 树冠圆锥形
            - 3200—3600米 → 秃杉林、苍山冷杉
            - 1800—2400米 → 杉木、秃杉林
          - 6 长圆锥形,纯林<2200米 → 杉木
      - 色调不深
        - 树冠圆锥形
          - 冠顶饱 深灰、色调均一
            - 暗灰 → 云南松林
            - 灰 → 华山松林
          - 色调不匀 → 云南/华山松交林
        - 5 树冠非圆锥形
          - 椭球树冠 → 青果林
          - 带状树冠
            - >1800米 → 刚竹、方竹林
            - <1800米 → 箭竹、杜竹林
    - 3 林冠形状大小不一致
      - 色调均一
        - 色深 >2400米
          - 紧密排列、小颗粒状 → 山地苔藓矮林
          - 中小颗粒状 → 中山石栎常绿阔叶林
        - 5 不深 <2400米
          - 呈条带状,<1600米 → 沟谷季雨林(常绿阔叶)
          - 6 不呈条带状,1800—2400米 → 低山、栲、石栎、常绿阔叶林
      - 4 色调不均一
        - 深色或中色调
          - 圆锥树冠 暗灰
            - 均匀、暗灰 斑状 → 中山落叶+常绿阔叶林(云南松)
            - 不均匀,黑灰 → 阔叶树+铁杉林
          - 6 无圆锥树冠
            - 大颗粒
              - 浅灰+暗灰(镶嵌) → 思茅松常绿阔叶林
              - 暗灰色 → 低山落叶阔叶林(旱冬瓜)
            - 中小颗粒
              - 深灰、浅灰(镶嵌) → 岐曜木荷常绿阔叶林
              - 灰+浅灰 → 红木荷常绿阔叶林
        - 5 浅色
          - 大颗粒(>0.2mm)
            - 深色
              - >2400米 → 中山落叶+常绿阔叶林
              - <2400米 → 低山拷阔叶林
            - 浅色为主,广卵形或倒卵形树冠 → 低山落叶+常绿阔叶林
          - 6 小颗粒(<0.2mm)
            - 团絮状斑块,>3000米 → 亚高山箭竹、杜鹃灌丛
            - 7 不具团絮状斑块
              - 颗粒排列稠密 1300—1600 → 栓皮栎、耳叶椰榆生林
              - 8 颗粒排列稀疏
                - 颗粒稀疏 <1300米 陡坡 → 干热河谷灌丛
                - 9 颗粒疏密不等
                  - 极旱(低中山,有刺灌丛)
                  - 10 缓坡 → 干燥(低中山,常绿灌丛)
- 1 明显的线状延伸条纹
  - 边界不分明
    - 颗粒小 → 茶园
    - 颗粒粗
      - <1000米 → 橡胶
      - >1000米 → 红花油茶
  - 2 边界分明
    - 色调均匀边界清晰
      - <1600米 → 双季稻(或一稻一麦)
      - >1600米 → 单季稻
    - 3 色调不均边界不清
      - <1500米 → 甘蔗、棉花
      - 4 >1500米—2000米
        - 连片分布边界齐 → 玉米、小麦
        - 5 零星分布边界不齐
          - 1500—2000米 → 马铃薯、玉米、红薯
          - 6 >2000米 → 荞麦

图 2-12

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

精度低于 95%。但此法计算量大，需机时多，不经济。

若采用分层分类法，既明显减少了用机时间，又使旱地与居民地的分类结果有所改善。第一层仅区分水体、土壤、植被三大类光谱特性明显有别的地物。根据可分性分析计算确定选用 4－3/4＋3，5/4，7 这样的复合波段数据进行最大似然分类计算，其分类总精度达 99.1%。第二层再分别选用合宜波段数据对上述三大类地物进行进一步的识别分类。土壤类选用2、3、4、5、7 这样 5 个单波段的数值，区分湿滩旱地、滩旱地、坡旱地、居民点等四类，其总精度达 95.2%，除滩旱地一类为 93.0%以外，其余各类均超过 95%，基本满足生产实用要求。

（四）美国西南部山区雪被分类[4, 5]

融雪是一种重要的水资源，为了对一个流域内的雪被进行分类和制图，鉴别出积雪区内的不同雪被类别（即不同含水量的雪），遥感的方法则是对多波段描扫数据进行分类。若不用地面已知资料，单用非监督分类可得 5 种雪的光谱类别雪 1—雪 5。为了同时识别出测区内其它主要的地面覆盖类型，包括水、森林、农业区及某些地表水体的镜面反射类别等，采用监督分类法最终可以分出 9 种类别。

采用分层分类法，其分类器实际上是一种顺序地或分层地采用最大似然分类算法的分类器。此法最大优点在于，当对每个类别的各子类之间进行多光谱鉴别时，因区分的类别少，可分性强，故能采用最佳的光谱通道或组合来达到鉴别每种子类的目的。

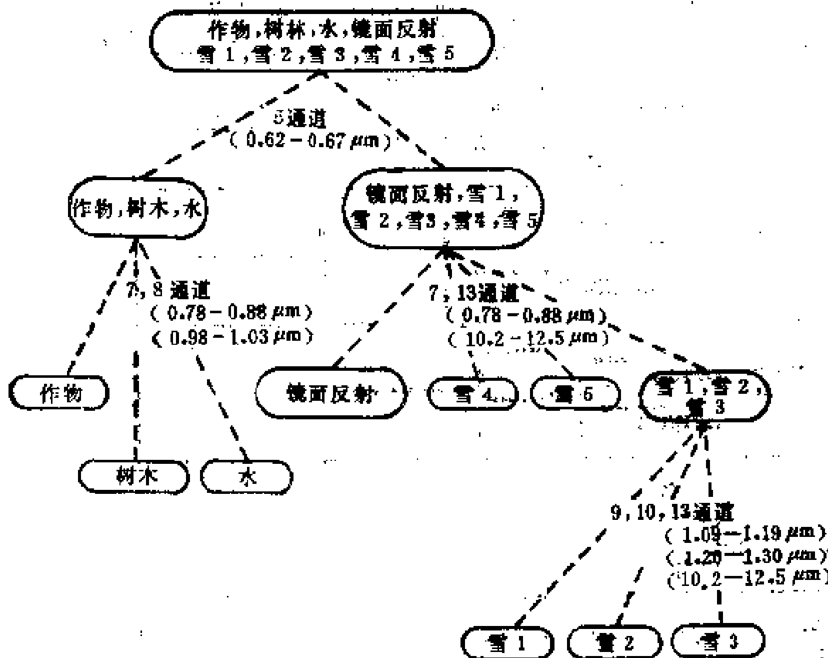
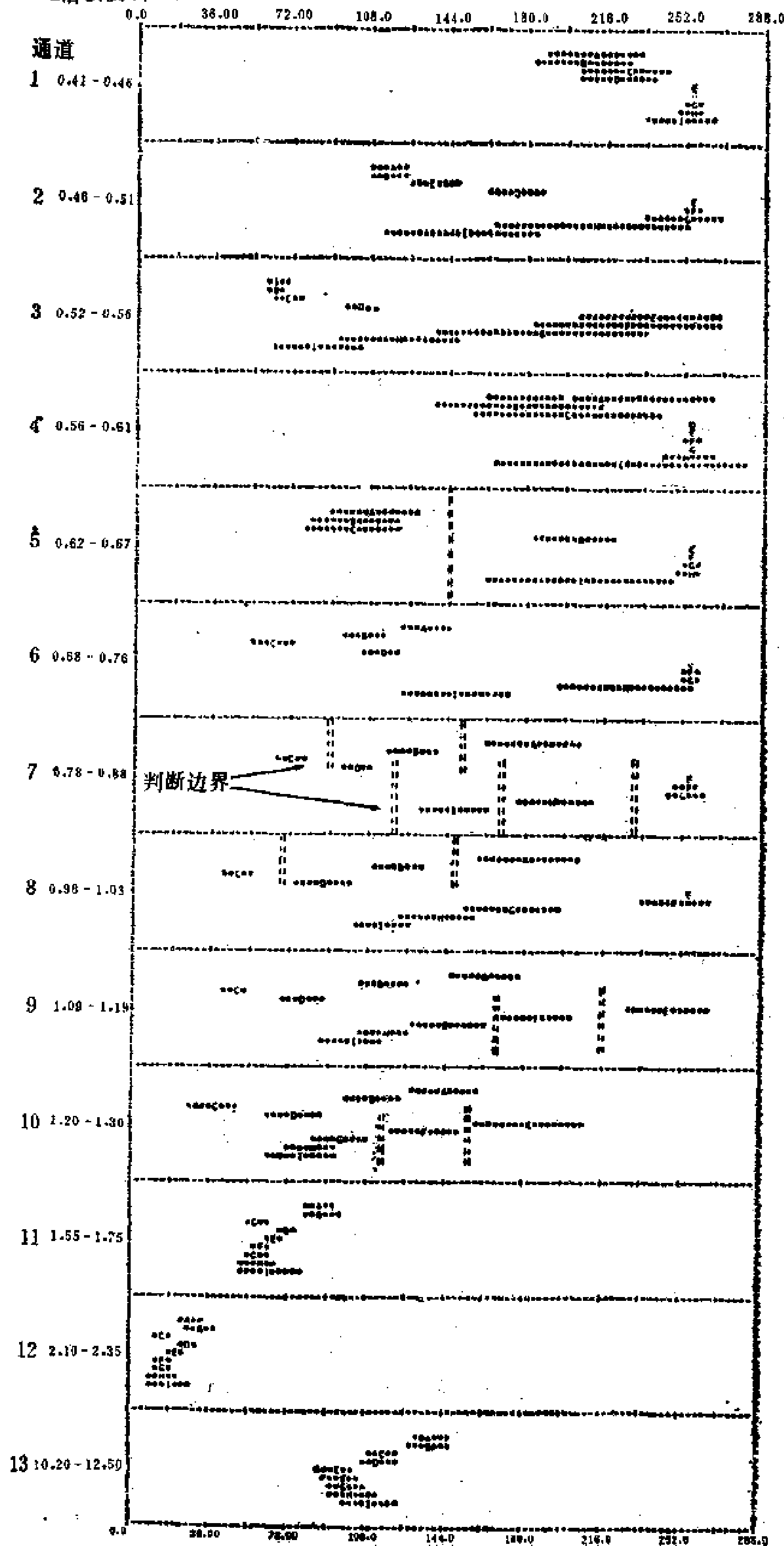


图 2-13　雪被分类的判决树

图 2-13 为雪被分类的判决树。图中可见，为了把农业区、森林、水与雪的 5 种子类及镜面反射类别区分开，只需采用第 5 通道(0.62—0.67 微米)的数据就行了。如果还要进一步区分作物、树木和水，则利用第 7、8 通道的数据即可。而区分雪的类别得分别用 7 通



叠合光谱图(平均值±1 σ)雪被测绘，天空实验室 S 192 型多波段扫描仪数据。试验区：格兰尼特峰。1973年6月5日。

代号

A ＝ 类别 1	作物
B ＝ 类别 2	树木
C ＝ 类别 3	水
D ＝ 类别 4	镜面反射
E ＝ 类别 5	雪子类 1
F ＝ 类别 6	雪子类 2
G ＝ 类别 7	雪子类 3
H ＝ 类别 8	雪子类 4
I ＝ 类别 9	雪子类 5

图 2·14

道以及9、10通道。而这种最佳光谱通道的选择，最方便和直观的途径是利用叠合光谱图。它是以定量方式对数据的光谱特征进行研究和比较的一种很有效的方法。当然它是建立在光谱统计分析的基础上的。

图2-14中共有13个通道（采用美国天空实验室多波段扫描仪的数据）和9种光谱类别，分别用字母A—I表示。每种光谱类别在每个通道中的平均光谱响应范围在图中也有清楚的表示。字母的位置表示不同类别在每一波段中的平均光谱响应，星线长表示相对于平均光谱值的标准偏差。通过分析对比可以看到，5通道是把A、B、C、（即作物、树木、水）类别与其它类别区分的最佳通道；7或8通道是区分A、B、C类别的最佳通道。剩下的6种类别的进一步分类，则首先需要利用7、13通道将其中的D、H、I三个类别区分出来，然后再利用9或10通道把最后剩下的三类E、F、G区分出来。可见，采用分层分类法总共需要三个分类步骤即可完成全部分类。由于整个分类过程始终都是在分析人员的仔细操纵下进行的，因此分层分类法所达到的分类准确度（97.5%）比其它分类法高2.2%，而计算时间减少15.75%（即从235秒减少到198秒）。

最后输出5种雪被覆盖图、雪被覆盖面积表等。如果把数字地形数据与光谱数据叠加后，可以了解雪的状态随高度而变化的规律。对于水文工作者而言，若将计算机所获得的不同高程的雪被面积估算值与通过预测得到的不同高程的雪的含水量两种信息结合起来进行综合分析，则可以对该地区各流域内的径流量作出准确而及时的预测。

参考文献

〔1〕 P.H.Swain, S.M.Davis, Remote Sensing: The Quantitative Approach, McGraw—hill International Book Company, 1978

〔2〕 C.L.Ernst, R.M.Hoffer, Using Landsat MSS Data with Soils Information to Identify Wetland Habitats, *Satellite Hydrology*, 1979

〔3〕 Shimode H. et al., Land Cover Classification Using Landsat Data, *Proceeding of the 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, *Vol*.2, 1979

〔4〕 C.L.Wu, D.A.Landgrebe et al., The Decision Tree Approach to Classification, *LARS Information Note* 090174, 1974

〔5〕 P.H.Swain, C.L. Wu et al., Layered Classification Technigues for Remote Sensing Applications, *The Earth Resources Survey Symposium*, Vol. I-B, NASA

〔6〕 P.H.Swain, H.Hauska, The Decision Tree Classifier: Design and Potential, *IEEE Trans.Geoscience Electronics*, Vol.GE—15, 1977

第四节 系列制图

一、系列制图的概念

遥感系列制图是遥感区域综合分析的重要手段，也是区域研究成果的科学表达方式。它是遥感技术和地图学的结合。

自然界各种要素相互联系、相互影响和相互制约，并按一定的空间组合和分异形式，构成一个完整的统一体——自然综合体。自然界的各种现象有它自身的发生、发展、变化规律。这个规律与其它现象是相互联系的。因此，要想系统、全面地阐明这种相互联系，单凭对一种现象的分析是难以达到的。它需要综合地研究各种物体和现象以及它们的相关性，这对宏观上的全面了解是很有意义的。这里要求各个专业不仅各自阐明某种或某些要素的特有规律，描述自然界现象的多样性，而且要求它们彼此之间能够相互论证、相互补充，从而揭示出复杂的自然现象之间的联系，以达到辩证的统一。

现代遥感技术的飞速发展以及科学研究的不断深入，为遥感系列制图提供了可能和必要。遥感图象包含丰富的信息，客观地反映地理景观的结构和特征，以及具有数量化、动态的特点。遥感系列制图便是研究如何利用丰富的遥感信息，结合地学调查研究，进行遥感地学综合分析判读和成图处理，以一套图文并茂、统一协调的专题地图来反映自然综合体的统一性和自然条件与自然资源的多样性，反映图象信息的特征和它们的内在联系，以供科学研究和生产建设有关部门认识特定地区的自然条件、清查自然资源、编制发展规划。这样的一套遥感专题系列图是由不同专业人员按照各自的应用目的和要求，通过图象解译与综合调查分别获得的，并将获得的专题信息按统一协调的分类和图例系统，转绘和表示在统一的地理基础底图上，这样可在每一种专题图上既反映专题内容又兼顾到与之有关的内容，避免出现矛盾。因而，它具有专业性、系统性、综合性，可以相互对比与引证，达到统一协调的目的。

遥感系列制图有三个基本条件：

1. 以同一遥感信息源作为制图的基础

如腾冲航空遥感系列图、山西省太原幅农业自然条件与自然资源系列图，均是以同一彩红外航空象片或同一陆地卫星影象作为基础。这样，由于利用同一地区和时间，同一基础资料和观察方法，在科学体系上易于统一。尽管各学科观点有所不同、研究程度各异，但在相互借鉴下，分类指标、分类系统、分类等级便于协调。这里应该说明的是，在遥感系列制图过程中，往往还需要运用其它遥感和非遥感信息，作为基本信息源的一种补充。

2. 统一的制图规范和相对应的分类原则

制图规范，指基础底图、表达方式、分幅、地图整饰、图例、制图综合、制图精度等方面内容均是统一的。分类原则指无论地貌图、地质构造图、土壤图……，其各级分类系统、分类等级和类型都必须对应。其中各专业间分类标准详略的一致性，是各专业类型界线统一协调的基础。

在对整个地区的自然环境各要素发生和发展过程及相互关系的深刻了解的基础上，

找出它们共同的分类基础，作为各个学科协调的依据。同时制定出适于该区的制图分类原则、分类等级、表示方法。在统一的制图规范下，对统一的地理基础底图，按照自然环境的区域分异原则及各级地理景观的空间结构与相互关系，划分各专题类型的重要界线，以保持各级界线在轮廓上相互协调、彼此对应。这样在综合的基础上分析，在专题分析的基础上综合，强化了对专题内容理解的深度与广度。系列制图是从最基本地理单元（景观单元）出发的。对应于一个制图单元，在图上的每一块图斑，是按这个比例尺不必再分的最小空间实体——地理综合体。这样，对某个制图区域或部门，既然制图规范、基础底图是统一的，又按统一的地理单元制图，尽管地理环境各要素有它特定的空间组合和分异形式，但是它们各类型的重要界线在轮廓上应该是相互对应的。

3．按一定的逻辑顺序依次派生出各种专题地图

根据各环境要素间相互联系、相互制约的特点，有些专题内容是必须在另一些内容的基础上推断与派生出来。这种派生的逻辑顺序必须符合于这一区域自然综合体内在的规律性。如在反映基本自然条件的系列图中，地势图往往是必不可少的主干图。这是因为地势是自然综合体各要素中最重要的要素之一。它的高低起伏与走向，在一定程度上决定着热量与水分的再分配，影响水系的发育与形态，制约着植被和土壤的形成。编制土地资源评价图，必须先有土地利用现状图和土地类型图。一般从地质图、地貌图派生出植被图、土壤图等。这样既保持各专题制图的差别和可对比性，又能揭示出各组成要素的统一协调、一致性。可以节约许多彼此旁证博引的重复工作，克服学科间的局限性，便于统一认识区域的整体，使各部分有机联系起来，有利于发现、揭示相互间的依存和矛盾，提高判读分析的深度。

“综合制图”虽然也是全面地考虑各要素和现象间的相互制约与相互联系，把各种资料（包括遥感与非遥感的）汇编在一起，以地图或地图集形式表达出来。但是，综合制图与系列制图的最大区别在于，它不要求制图规范统一，分类原则也可不对应，所划分的地理单元带有较多制图者的主观色彩。因而往往产生不能殊途同归的现象，各专题界线间出现矛盾，需要进行大量的协调工作。

二、系列制图的发展

50年代中期，在全国自然区划工作中，对江苏太湖东、西洞庭山地区进行过景观制图的实验。该区是亚热带—暖温带的过渡地带。秦岭—淮河的地理界线过大别山后，去向如何？是向北到连云港呢？还是向南到杭州，或走中路到太湖？去向不明。这里首先要解决的问题是自然区域的最低单元分到哪一步？回答是明确的，划分的最低级应是景观单元（又叫地理单元）。它代表一个客体。其次，要解决景观分异问题。工作中探讨和建立了物质与能量迁移模式，以动态平衡解释景观的存在与分异现象，从而理解了该区的景观结构。如水、土从山—湖，又从湖—山的运移规律，北坡与南坡差异的原因等。通过研究，认识到自然综合体在它形成过程中构成一个封闭的小循环体，因此只要按统计频率合并，这些客体是可以大致确定其界线的。但这一界线不象其它地区被地形强化而那么明显，而是一个分散的过渡带。这项工作最后用一套专题图加以表示。但当时

还只是属于综合制图，并非系列制图。

1963年以中国科学院地理所为主组成一个专题调查组，考察热带海南岛航空象片综合利用的可行性。当时地方上提出了一系列综合性的问题，如农田与橡胶园争地，水库建成后灌溉用水的矛盾等。海南岛已进行过七次调查，有了系统的航空象片和基本的地形图，于是提出了系列成图的概念。试图利用航空象片为热带资源开发与农业生产规划编制一组自然条件和土地资源图，包括地貌、坡度、土壤、植被、土地利用、土地类型等6种专题图。并连续三年在海南岛最大的两个县儋县、临高县清查土地资源编制1∶5万的土地利用现状及土地类型等图件。但由于利用的是50年代初期的黑白航片，资料偏旧，与现状差异较大。可见系列成图的设计思想，若超越了信息源的现实基础，没有一定的信息源作保证，是难以实现的。

70年代，系列制图已是一种趋势，是一比较先进的地学分析和基础性的区域信息储备和表达形式。墨西哥、日本、意大利、苏联等国也都建立了系列制图的新生产体系，先后编制了一些不同比例尺的全国土地资源系列图、地质系列图、环境污染与破坏系列地图等，建立了环境质量评价或土地资源档案。西德有10个州的系列地图，选题十分丰富，种类多达100—140种专题地图。它成为区域开发和规划建设的“地理档案”，并可以对某些专题地图随时更新。

这一新动向，推动了我国系列制图的发展。1978年腾冲航空遥感试验，便开始了系列制图的工作。以后，以航空遥感为基础的系列制图虽然未象腾冲试验那样大规模地进行，但是遥感系列制图却一直在进行着，如在云南大理一带、四川渡口地区、天津—渤海湾地区、三江平原、黄淮海平原等。可以说几乎较大规模的区域遥感工作均少不了以遥感系列制图的形式提供该区综合、系统的研究成果。另外，在发展航空遥感系列制图的同时，还发展了航天遥感的系列制图，编制了江苏太湖幅卫星图象系列图(1979)、山西太原幅卫星影象农业系列图(1981)、云南丽江地区农业综合系列图等，都具有内容广泛、全面、适应性强的特点。“七五”期间的遥感系列制图，如三北防护林地区、黄土高原地区遥感综合调查系列制图(1988)等，并不要求系统、全面，而更突出重点、主题明确、实用性强，图幅相应减少、制图周期短、更新快、经济，更显示了遥感系列制图的生命力。如黄土高原地区的土壤侵蚀图。它根据黄土地区水土流失严重的特殊性，从地貌类型图、土壤类型图、植被类型图及坡度图中派生出土壤侵蚀图。它充分地反映了黄土地区土壤的侵蚀类型和侵蚀强度。

三、系列制图的实例

(一) 腾冲航空遥感系列制图

1978年腾冲航空遥感试验一开始，就提出系列制图的设想。运用统一的遥感信息源——航空遥感所提供的同一区域、同一时间的多种遥感信息(主要是航空彩红外象片)作为系列成图的基础。采用遥感影象方式，掌握地表各要素的成象规律，进行遥感图象专题信息的提取和分析判读，最终完成各类专题系列制图。

图 2-15 为遥感系列图的作业顺序。图中（1）、（2）为信息获取阶段，表示获取信息的各种传感器类型和由此可得到的遥感资料。（3）为第一级产生的专题系列图。（4）为次级产生的专题系列图。（5）数据综合分析与预测及其制图。

腾冲山区，山高谷深，又受西南季风影响，生物、气候的垂直分带与水平差异明显，自然景观类型复杂。自然景观图综合地反映了自然现象的相关性，可以在整体上起到控制作用。因此，以景观结构为协调的依据，便于确定协调目标和类型划分。在这次试验中，通过航空象片解译和地面调查，编制出该区的自然景观图。此图为各专业编制专题图和进行统一协调，提供了一些基本的参考界线，以此确定协调目标和处理原则作为专题系列成图的基础；同时也注意到解决制图对象的标准化、规格化和模式化，为遥感图象所反映的自然现象的自动分类和自动制图提供了地学理论依据。最后编制了包括 25 种图的专题系列图，采用的统一比例尺为 1：10 万。它们包括各类影象图，地貌、地势、坡度图，地质、岩相、岩体、构造、水文地质、地壳活动图，以及水、土壤、植被、森林、土地等资源图，还有自然景观图、统计图等。反映了多学科综合分析、判读的成果，有利于对区域系统整体的认识和专题研究。

（二）山西太原幅农业自然条件和自然资源系列制图

这项工作由山西省与北京大学等 8 所高等院校于 1981 年合作完成。它以陆地卫星遥感图象作为统一信息源，进行中、小比例尺多学科系列制图的试验。共完成了 17 幅专题图，包括影象图、影象地图、地质、地貌、水系、水文下垫面、土壤、土壤侵蚀、土地、森林、牧草地、农业气候区划、农业自然区划、农业生产条件等各类解译图。采用影象地图的形式，把各种专题解译成果转绘到经几何校正的统一卫片底图上（比例尺 1：50 万），从而保证了成图精度。同时运用影象与地学分析结合的方法，掌握农业自然条件系列信息的空间分布、时间演化规律和相关信息进行解译、成图。整个试验中使用了简单仪器，采用了多种影象光学处理方法和信息特征提取技术，取得了较好的效果。

（三）墨西哥全国土地资源系列制图*

这是由墨西哥国家土地委员会承担的。该委员会从航空摄影、象片判读到系列成图，建立了一个较完整的生产体系。

这项工作任务是在 10 年内（1968—1977 年）完成墨西哥全国一整套 1：5 万土地资源系列图，并把它作为土地档案的存储形式。墨西哥约 190 万平方公里，划分为 87 个作业区，分期分批进行彩色航空摄影、自动化立体测图与综合判读，配合必要的野外勘测、实验室分析，进行地形、地质、土地利用、土壤和城市平面图等 5 种主要图件的系列制图，同时派生出区域气候图、水文地质图、土地潜力图等（图 2-16（a））。

这些地图的编制全部是在彩色航空象片判读的技术基础上进行的。作业顺序为：

1．航测成图，建立以计算机为中心的自动流水作业线

* 墨西哥遥感、航空勘测与地理学研究的新进展，中国科学院科学考察小组，1973 年。

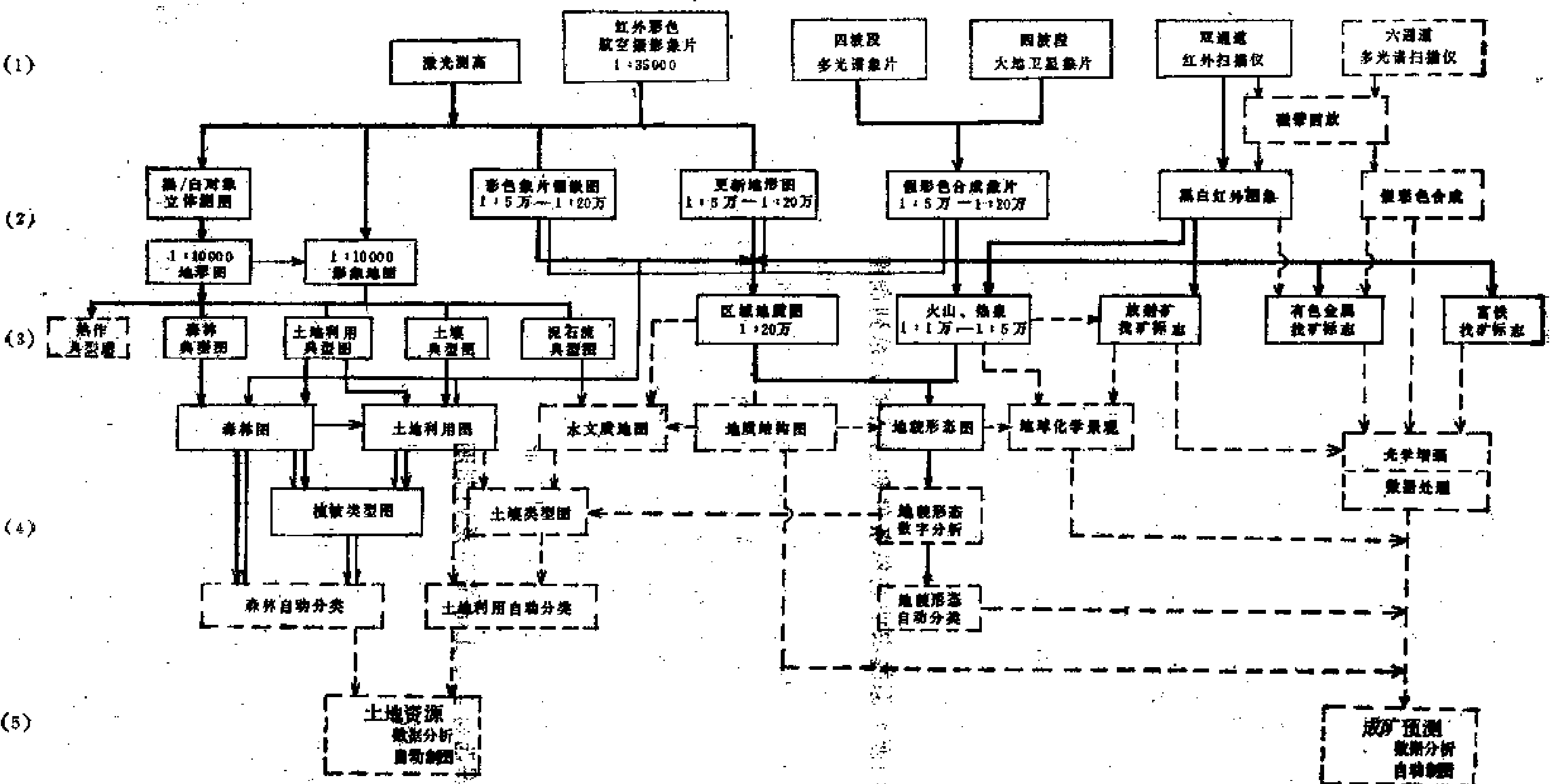
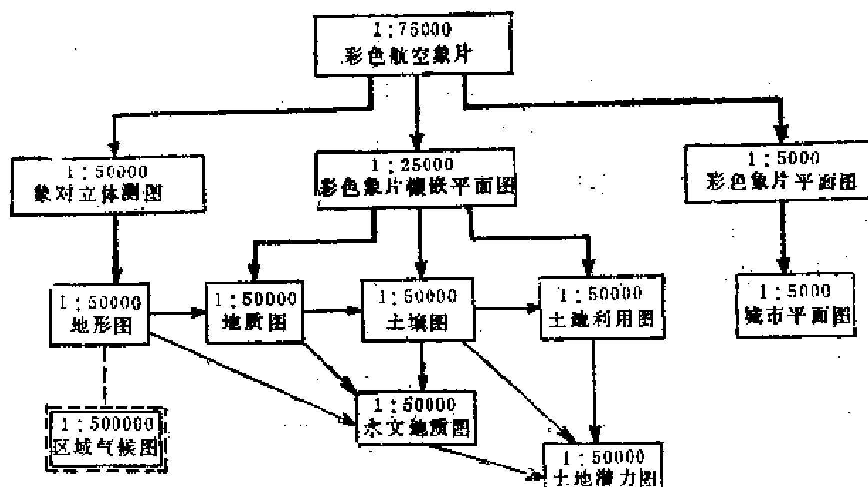


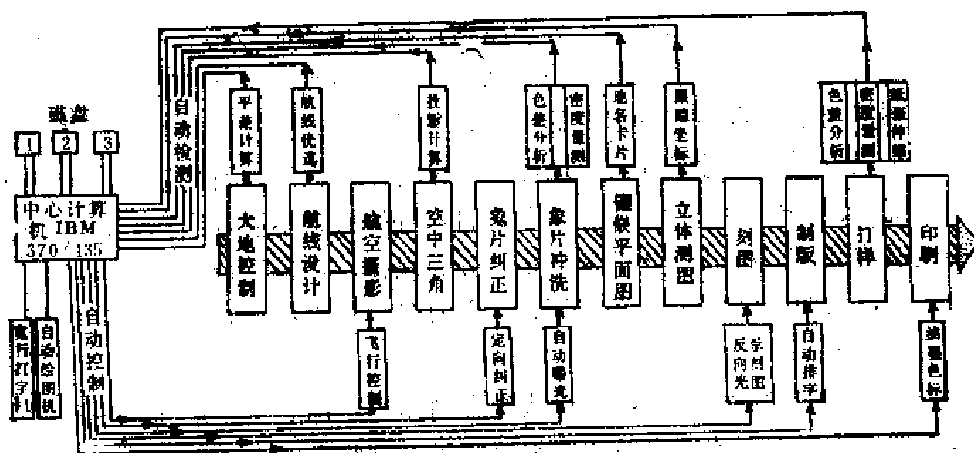
图 2-15 腾冲遥感试验区系列成图设想

土地资源图作业程序



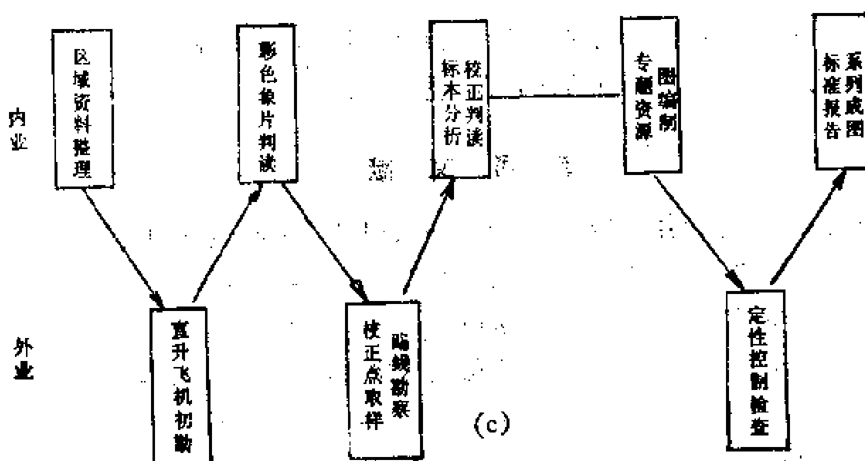
(a)

航测成图生产流程



(b)

航空象片判读



(c)

图 2-16 墨西哥全国土地资源的系列制图

如图2-16（b）所示，航测成图主要流程为：大地控制测量一设计航线一航空摄影一空中三角一象片纠正一象片冲洗一镶嵌平面图一立体测图一刻图一制版一打样一印刷。

为了保证彩色航空象片的高质量和标准化，丰富判读与制图内容，对从航摄到制印的主要工艺环节都有严格的自动检测装置和自动控制装置。用IBM计算机存储全部信息，控制整个流程，起着运算和管理作用。如在处理彩色象片时，对纸张伸缩、胶膜微粒密度、感光量、灰阶、色差等逐项均经过检测，将数据传输到计算机处理作为自动控制曝光、显影、纠正的依据。

2. 航空象片的综合判读与制图

如图2-16（c）所示，此工作分内业与外业两部分：

地学资料整理一直升飞机勘察一彩色象片判读一路线勘察、校正点取样一标本分析、校正判读一编专题图一野外检查、定位精度一作图一提出报告。

一环紧扣一环，以保证资料的可靠性。

在系列制图中，采用了统一的基础地形图，作为各种专题地图的通用底图。这个基础地形图加密等高线后，便成为国家基本地形图（民用），再加军事符号，则成为军用地形图。同时，有统一的制图规范和分类原则，按顺序编制多种专题地图。它不仅完成了全国的国土普查任务，而且满足了各方面的需要，取得明显经济效益。

系列制图涉及最基本的景观单元的问题。如果不是以地理规律成因分类作基础，而仅出自直接工程应用的考虑来进行地理环境的分析，那么所涉及的制图单元往往是不稳定的。如把荒山、荒地等输入数据库，由于它们本身的概念不清，没有固定的数量指标。这样的数据便很难利用。所以应该研究自然界分异规律，追索到最小的景观单元来作为环境分析的基础，从而研究单元内各环境要素的存在形式和相互关系。这里的一个重要方法便是系列制图。

进行一项单一的专题分析时，无论从概念到作图，都应建立系列制图的概念，即应该同时考虑到，是否有与此图有关的继承性资料，这些资料是否在同一信息源下，以及从这张图能否派生出其它图。否则，这张图便难以与其它图件沟通，不能互相参照，互相联系。

作为地学分析，应强调分析的系统性。而系列制图正是这种系统性的一种表现。所以把系列制图作为地学分析的一种方法，在这里加以介绍。

参考文献

〔1〕陈昱：试论遥感系列制图的若干特点——以编制《腾冲遥感图集》实践为例，环境遥感与地理制图，科学技术文献出版社重庆分社，1984年

〔2〕施曼丽：《腾冲遥感图集》编制方法研究，（同上）

〔3〕金瑾乐等：论遥感系列地图，再生资源遥感研究，科学出版社，1988年

〔4〕诸广荣：关于遥感系列成图中几个问题的探讨，黄土高原遥感调查试验研究，科学出版社，1988年

〔5〕中国科学院遥感应用研究所：腾冲试验区——航空遥感图集，科学出版社，1981年
〔6〕山西省农业区划委员会遥感试验组、教育部高等院校山西遥感协作组编；陆地卫星象片太原幅农业自然条件目视解译系列图，科学出版社，1981年

第五节 交叉分析法

一、交叉分析法的概念

遥感地学分析有许多不同的方法。在解决具体问题时，这些方法往往不是以单一形式出现，也不是两种方法的简单结合，而是几种方法多次反复、交叉进行。这便是交叉分析方法，或称混合分析。

人们对交叉分析的方式有多种理解。这里主要指的是目视解译——光学图象处理——计算机统计分析交叉进行，或称光机混合处理。目视解译把地学工作人员的专业知识介入到图象分析中去，可以根据影象特征，即色调、形状、大小、纹理、图型结构以及影象上目标的空间组合规律，来识别目标。它不仅仅限于对各种地物的识别，还能利用影象的综合性、宏观性等特性，对各自然要素进行综合分析。因而，目视解译方法是遥感解译的最基本方法，是区域景观分析的重要手段。但是，目视解译精度不够、定量化有一定困难，加之人们认识过程的阶段性，总不免加了主观色彩。光学图象处理经过彩色合成、密度分割、边缘增强等一系列光学变换，进行某些专题目标的特征提取，并与目视解译密切结合，达到识别目标的目的。这种方法简单易行、速度快、成本低，是一种经济有效的方法。但是，对于某些区域复杂的环境背景难以适应，而且受干扰因素多、信息损失较大、几何精度较低。计算机图象处理是计算机对遥感原始数据的处理，可以利用各波段、各象元间灰度值的最小差异，探测目标的微小变化，精确度高，适于定量分析，且计算机对数据的处理方式很多，具有很大的灵活性。但是，计算机处理过程中，主要是对象元的亮度值进行处理，而对纹理结构、图型结构的处理能力较差，更不能运用地学规律加以综合分析，也就是说，它对地理环境各要素间的复杂关系难以进行有效的综合分析，而且对设备要求高，数据处理量大、费用高，限制了它的使用范围。

交叉分析的目的在于，充分发挥目视解译、光学图象处理与计算机图象处理各自的优点和特长，将它们有机地结合起来，组成一个经济有效的工作程序。交叉分析的方式可以多种多样。如用计算机对影象放大、增强，从而改善影象的质量，作为光学处理的基础，以提高图象解译的精度；对典型样区进行计算机增强处理，以建立解译标志和选择最佳处理方案，来指导光学处理和目视解译；在光学处理、目视判读的基础上，对局部疑难地区经过图象扫描数字化直接输入计算机，进行计算机增强处理，以提高处理的速度和效果。尽管“光”、“机”的份量及在工作中所起的作用不同，但实际上它们都是在光机混合处理支持下的目视解译方法。不难看出，光机混合方法是目前经费有限、计算机处理尚未普及，以及计算机处理尚未发展有完善的人工智能的条件下，把人的判读能力

与光学一计算机处理能力充分结合起来的有效途径。

二、交叉分析程序实例

（一）区域自然资源分析程序

这是目视判读、光学成象与计算机图象增强交叉进行的一个典型例子[1]。其目的是使影象判读与图象数据分析、自动制图技术结合起来，用于区域开发研究和资源调查等方面。它运用陆地卫星多光谱数据（影象或磁带），采用计算机图象处理技术，进行遥感影象的增强与分类处理，为判读人员在未进行实地踏勘之前，提供多种具有不同增强效果的影象和分类图，输出多光谱黑白影象，进行光学彩色合成并放大，以供地学综合分析判读。这样多次反复，从而获得区域景观的概念，并为资源勘探提供远景区选择。

现以腾冲试验区矿藏资源调查为例。

1. 具体步骤

(1) 对陆地卫星 MSS 彩色合成片进行初始判读，以选择样区。

选用 Landsat 1，2 的四波段扫描影象 70 毫米负片，分别放大印制出 1：100 万的黑白光谱片，同时拷贝出正透明片。用 4、5、7 波段正透明片，在彩色合成仪上做彩色合成（1：25 万），屏幕显示。根据区域矿藏资源调查的分析要求(如在植被、水系、地形和地质构造等方面的特征)，对上述彩色影象作初步判读，以选取对矿藏资源调查具有研究价值的数块远景研究区。腾冲地区选取了 10 个相当于半个经纬格网大小的试验样区。

(2) 对样区进行图象数字处理一光学合成一判读，以选择小样区。

每个样区作一系列数字增强处理，包括线性及均匀密度分割、比值处理、规一化处理等，其结果均在 35 毫米的无齿孔胶片上以黑白光谱影象方式输出。再一次对分波段影象作彩色合成放大（1：5 万）屏幕显示。目视判读分析，以选择更有价值的小样区。这里选了三块重点研究的小样区。

(3) 对小区进行图象数字处理一彩色合成一分类

在小区内进行第二次图象数字处理，重点进行单个象元点的数字影象增强处理，作出 4/5、4/7、5/7 的黑白比值图象以及 4/4+5+7、5/4+5+7、7/4+5+7 的黑白规一化图象，输出结果。同样作彩色合成，放大到 1：1 万。最后进行计算机分类处理。根据有无参考资料（地面实况和历史图件等），可采用非监督的聚群分类或监督分类。输出分类结果。

(4) 地面验证

分类结果与参考资料、地面实况作比较，以验证分类类型和分类精度。

2. 特点

(1) 把研究区逐级缩小（区域一样区一小区）；而比例尺逐级放大（1：100万—1:25 万—1:5 万—1:1 万）。腾冲地区最后选择了三个小区，两个为铅锌矿区，一个为尚未形成矿床的铜矿化地带。

(2) 把光学处理与数字图象增强结合起来，并介入目视解译，三者交叉进行。这样可以大大提高分析精度，减轻计算机的工作量。

(3) 设备简单。仅用简单的通用计算机和彩色合成仪，便可完成。数字图象处理主要包括影象密度数字化、直方图计算、密度分割、彩色合成、比值分析、规一化处理等。

(4) 可得多种形式的资料。①不同比例尺的单波段图象以及彩色合成片（包括标准假彩色合成和增强后的图象的彩色合成)。②各种直方图。③输出三种分类结果，采用不同图形表示各种分类结果的特殊图形分类图；灰阶影象分类图；经彩色编码的三种灰阶编码分类影象胶片，再在彩色合成仪上制成彩色分类图。④作幻灯片或直接打印地图，均可通过简单程序直接输出。

这种目视判读—光学成象—数字图象处理交叉分析，进行多层次区域采样的方法，对于缺乏资料或地面实况的未开发区，进行区域开发研究和资源调查是行之有效的。

（二）县级土地利用调查

研究区在湖南省常德县西北部[2]，属季风气候区，面积约450平方公里。区内有低山、丘陵和平原，土地类型多样。在县级土地利用调查中，采用了卫星影象计算机—光学结合的处理方法。其工作步骤如下：

1. 卫星影象的几何纠正。

2. 计算机图象增强处理。主要进行灰度线性扩展。目的在于加大影象内所有地物间的灰度差别，以此作为光学增强处理的重要基础。

从图 2-17 可清楚看出，经线性扩展后，绝大多数地物之间的灰度差值显著增加。仅

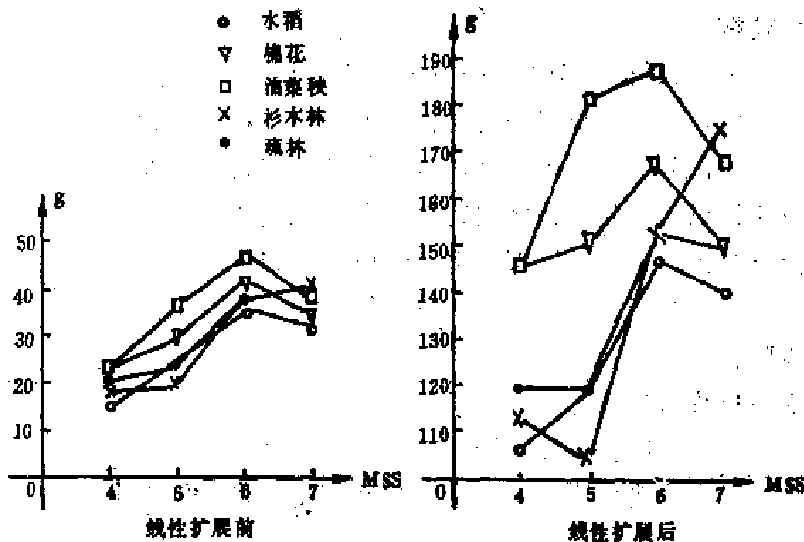


图 2-17 线性扩展前后地物灰度差值对比

少数灰度值相同或相近的地物（仅在第一、二个波段）经过线性扩展后，彼此灰度仍变化不大。如疏林与杉木林在MSS 6波段便难以分开。个别地物经过线性扩展后，在某两个波段上自身的灰度差值减小或灰度相等，如棉花在MSS 5、7之间，疏林在MSS 4 5之间。

3．计算机放大及扫描输出。输出比例尺为1:25万，以供下一步光学处理之用。

4．光学图象处理—目视判读有以下二个步骤。

（1）光学放大与标准假彩色合成。在1:10万地形图上选7个控制点，以保证光学放大后的影象比例尺为1:10万；采用分层曝光法进行标准假彩色合成。对合成影象进行目视判读，能区分出大多数土地利用类型。但有些类型，影象色差小，不易区分，需要进一步增强处理。

（2）运用微机计算程序选择合成方案——假彩色合成—目视判读。目的在于增加难区分类型的影象色差。选择合成方案就是选择波段与匹配滤色片。具体方法是通过调整各合成通道的色度量来增加色差。这里是通过拷贝时调整底片的透过率来实现的。在这里，适宜时相的选择得到了充分的考虑。对于区分在同一季节生长的不同作物、不同树种，或作物与树种，沿时间坐标寻找相互处于不同生长期的时相。此时，优先考虑外观有显著变化的生长期（如花期、成熟与收获期等）。将计算选择方案的各合成通道的色度量（加滤色片）、地物影象透过率等编成程序在微型计算机上运算。按照所选方案进行假彩色合成。在所得的图象上，原来的9种难区分类型，有6种类型影象色差明显增大，能目视区分出来。其余3种，因原影象透过率差值很小，拷贝影象反差不够大，因而色差改进不显著，可再作进一步处理。

5．分类效果评价。经光机混合处理后的影象无论是清晰度还是分辨力均有明显改善。最终可解译出26种土地利用类型。用随机抽样法进行位置精度检验，分类总精度为88.50 %。

（三）铀矿勘探

试验区位于粤东，总面积约31450平方公里[3]。该区地质研究程度较高。工作中以卫星图象资料为主，采用计算机—光学混合处理方法，并结合地形、地质、物探等多种专题图进行综合对比分析，不仅对铀矿成矿区域地质背景、控矿的地质条件及成矿模式等获得了一些新认识，而且为该区进行铀矿远景预测奠定了基础。此法是由卫星磁带成象、子区试验及全幅图象光学处理三部分组成。实践证明，它是针对我国自然景观、铀矿成矿特点以及现阶段经济技术条件的一个行之有效的实用技术方法。

具体工作步骤：

1．确定主要地质研究目标

根据区域特点、铀矿赋存条件，选择几个与铀矿化关系密切的地质体。如主要成铀期（K_2—E）前的稳定构造地块、地堑型沉积盆地、岩浆侵入或喷出活动中心、大面积蚀变岩发育区等。

2．卫星图象的计算机处理

（1）图象的几何纠正。

(2) 图象镶嵌。因试验区位于两幅标准图象的边缘，则须进行图象镶嵌及工作图幅边界标定。

(3) 光谱统计分析。包括各波段灰度值的直方图统计分析以及进行分段线性拉伸反差增强处理。扫描输出图象胶片。

(4) 子区试验。以寻找专题特征提取的方法。选择典型地质意义的区段作为子区，其中一个为重点解剖区，另两个为辅助区，每个子区面积为 512×512 象元。子区试验内容包括：线性拉伸、假彩色合成、比值分析、边缘增强及非监督分类等图象增强处理方法。试验在 I^2S 101 图象处理系统上进行。其目的是为了针对研究目标取得处理方法方面的经验。

3. 卫星图象的光学处理

光学处理用的是通过计算机反差增强处理后扫描输出的图象胶片，包括 4 个波段（其中第 5 波段分为中低灰阶区和中高灰阶区），共 5 张负片。光学处理方法是借鉴和模拟子区试验成果来进行的。具体做法是先测定各选定目标在不同波段胶片上的密度分布特征，以此划分密度层，再运用光学模拟四则运算原则来显示各类地质体。光学处理所得的图象作为全区实际应用图象。当然，光学处理过程中发现的问题及效果的检验、分析，还可以"反馈"到计算机图象处理系统中去。

试验结果证明，整个方法取得了较为理想的单元增强或单元信息提取的处理效果。它有助于查明地质体与图象信息之间的确切关系，提高遥感图象在地质研究中的应用效果。

参考文献

〔1〕袭家龙：腾冲地区资源调查遥感影象数字处理试验研究，区域地理信息分析方法与应用，科学出版社，1989 年

〔2〕程芳等：县级土地利用遥感调查——卫星影象计算机—光学结合处理，《遥感信息》，第3期，1986 年

〔3〕何钟琦等：卫片的计算机—光学"反馈式"联合处理方法及其在铀矿研究中应用效果的探讨，遥感技术研究与应用资料汇编，科学技术文献出版社，1984 年

第六节　信息复合

一、信息复合的概念

信息复合指同一区域内遥感信息之间或遥感与非遥感信息之间的匹配复合。它包括空间配准和内容复合两个方面，从而在统一地理坐标系统下，构成一组新的空间信息、一种新的合成图象。信息复合的目的是突出有用的专题信息，消除或抑制无关的信息，以改善目标识别的图象环境。

多种遥感信息各具有一定的空间分辨率、波谱分辨率与时间分辨率，各有其主要的应用对象和特色，同时又有其在实际应用中的局限性。如果将各种遥感数据进行复合与

综合分析，便可弥补单一信息的不足，以达到多种信息源的相互补充、相互印证。这样，不仅扩大了各信息的应用范围，而且大大提高了分析精度。

信息复合的信息源可以是遥感的，也可以是用地学其它手段获得的非遥感信息。它们的复合并非几种信息的简单叠加，而往往可以得到原来几种复合信息所不能提供的新信息。正因为如此，信息复合十分有助于地学分析提取特定的信息，有助于更可靠地阐述自然环境各要素的相互关系、赋存与演变规律，满足地学分析及各种专题研究的需要。因此，信息复合方法具有广泛的实用意义。它是遥感地学分析中很重要的一种手段，也是目前遥感应用分析的前沿。

随着遥感信息源的不断增加，遥感应用水平的不断提高，信息复合的内容和方式也在不断发展。起初，是进行同种遥感信息多波段、多时相的信息复合，以提高遥感解译能力和进行动态分析。后来发展到不同类型遥感数据的复合，如陆地卫星与气象卫星、陆地卫星 MSS 与航天飞机成象雷达 SIR-A、陆地卫星 MSS 与海洋卫星侧视雷达 SAR 以及陆地卫星 MSS 与 RBV 等，以扩大应用范围，提高分析精度，获得更好的遥感应用效果。与此同时，人们越来越感到由于遥感本身以及实际应用中的局限性，要真正认识事物，并非遥感独家所能完成。它需要其它学科的支持，只有遥感与非遥感信息的复合，如与气象、水文信息，与重力、磁力等地球物理信息，与地球化学勘探信息，与专题地图信息，以及与数字地形模型（DTM）等信息复合，进行综合分析，才能更好地发挥作用。此外，遥感数据加入地理信息系统数据库，可视为信息复合的一种高级方式。这将在下一节中加以讨论。

信息复合的技术关键在于①充分认识研究对象的地学规律；②充分了解每种复合数据的特点和适用性；③充分考虑到不同遥感数据之间波谱信息的相关性引起的有用信息的增加以及噪声误差的增加，因此对多种遥感数据作出合理的选择；④几何配准，即解决遥感图象的几何畸变，解决以几何纠正为基础的空间匹配问题。只有对地学规律、影象特征、成象机理这三者有深刻的认识，并把它们有机地结合起来，信息复合才能达到更好地效果。

二、遥感图象的空间配准

信息复合的必要条件是实现同一区域、不同遥感信息地理坐标的统一，也就是空间配准。它包括几何纠正、投影变换与比例尺的一致。这里的关键问题在于解决各种遥感图象的几何畸变。这就是说，信息复合必须解决以几何纠正为基础的空间匹配问题。

（一）遥感信息的几何纠正

1．几何畸变

遥感信息来自于自然界。地球表面的任何地物，它本身有着一定的空间分布特征（位置、形状、大小、相互关系）。但是经过遥感手段后，这些信息的空间分布被部分歪曲了。摄影象片是地面的中心投影，中心点几何畸变小，越往边缘畸变越大；扫描仪得全景照片，扫描角相同，采样点时间相等，每条扫描线可看作扫描弧投影展平的结果，

因而扫描线宽度则不等，中间压缩、两边拉伸；侧视雷达则反而舍去几何精度最高的中心部分，而取用误差较大的边缘部分。可见，遥感所获取的数据，其空间位置均不同程度地被歪曲，已经变形。这便是通常所说的几何畸变。

下面以多光谱扫描遥感图象为例，来详细说明遥感图象几何畸变的类型及几何纠正的方法。

遥感多光谱扫描（MSS）数字图象是在卫星飞行过程中，由多光谱扫描仪对地球表面扫描采样形成的。扫描过程中，由于卫星的高度、速度、姿态均在变化，加上扫描镜的不均匀摆动、地球的旋转、地球曲率等各种因素的影响，使扫描中心投影产生的变形复杂化。即扫描成象过程中产生了一系列复杂的几何畸变（图 2-18）。

（1）扫描镜旋转速度变化所引起的畸变

由于扫描镜的非线性角位移，使扫描方向上的象元点间隔不恒定，有的压缩、有的拉伸，因而产生象正弦曲线似的畸变。

（2）卫星飞行轨道和姿态的异常所引起的畸变

卫星的姿态控制精度只能达到一定的限度，因而在卫星飞行中，存在着三轴倾斜，即发生滚动、俯仰、偏航现象，从而发生随机的几何畸变。

（3）地球自转引起的歪斜现象

随地卫星由北向南飞行，由西向东扫描，由于地球自转，造成扫描带逐次偏西，一方面使全景图象扭歪，而呈平行四边形图象，另一方面形成不同扫描带间的错位。

（4）有限扫描时间造成的影象歪斜

同一光谱带的六个检测器顺序采样，它们之间的数据读出存在着时间迟滞（delay）现象，造成同一扫描带内扫描线之间的错位。

（5）其它畸变

包括地球曲率引起的畸变（它是纬度的函数）、卫星高度变化所引起的畸变（用校正点进行比例尺调整）、卫星速度变化所引起的畸变、地形高差产生阴影所引起的畸变等。

可见，卫星 MSS 影象中存在着各种几何畸变。有的是由于卫星的姿态和轨道、地球的形状和运动等外部因素所引起的；有的是由于传感器元件性能，如反射镜的形状和旋转、探测器的配置、扫描起止时间、取样时间、重复扫描准确度等内部因素所引起的，也有的则是由于修正上述误差而进行一系列换算和模拟而产生的处理方面的误差。这些误差有的是系统的、有的是随机的、有的是连续的、有的是非连续性的，十分复杂。

遥感图象的几何畸变，降低了数字图象在某些应用中的使用价值，尽管这些畸变的原因是多样的，但是它们大部分可以通过几何纠正来消除。

2．几何纠正

所谓几何纠正，就是对遥感图象上目标的空间分布进行地面实况的校正。

在没有地面资料情况下，最好是按照制图方法将图象都转换到一个统一的坐标系统上。这里首先需要根据卫星的轨道公式将卫星的地理坐标及航向作为时间函数加以计算，并需要用一系列卫星参数进行图幅定位以及对多种畸变进行校正。以 MSS 粗加工

参数	几何图形	校正数量 在地面上的米数	参数	几何图形	校正数量 在地面上的米数
比例尺调整一个象幅中高度有变化象幅中有9个校正值	卫星 ΔX	$\Delta X = 9.26 \times 10^{4} \frac{\Delta b}{h_s}$ （在象幅边缘）	光谱带位移	光谱带1 光谱带2 光谱带3 光谱带4 ΔX ΔX ΔX	$\Delta X = 112\text{m}$
一个象幅姿态滚动有变化滚动 象幅中有9个校正值	ΔX 卫星	$\Delta X \sim b\Delta\theta_R$	扫描镜速度校正	实际路径 固定扫描速度的路径 沿扫描方向 ΔX O 时间 T	$\Delta X_{最大} = 395\text{m}$
俯仰 象幅中有9个校正值	ΔY	$\Delta Y \sim h\Delta\theta_p$	透视校正沿扫描方向扫描象幅	θ 扫描角 地平 ΔX	$\Delta X_{最大} = 115\text{m}$
偏航 象幅中有9个校正值	ΔX ΔY Δθψ	$\Delta X \sim 4.64 \times 10^{4}(\Delta\theta_\psi)^2$ $\Delta Y = 6.26 \times 10^{4}(\Delta\theta_\psi)$	沿卫星移动方向的量象校正（电子束记录器校正）	电子束记录器 扫描方向 卫星 ΔY	$\Delta Y_{最大} = 64\text{ m}$
由地球拱曲造成的影象歪斜（纬度的函数）	ΔX 卫星	$\Delta X \sim 8.88 \times 10^{4} d_{纬}$	调整校正—MSS相对于AMS的调整滚动	ΔX	$\Delta X = b\Delta A_R$
平均速度相对于标准值的变化	卫星 ΔY	$\Delta Y \sim 8.88 \times 10^{4} \frac{\Delta V}{V_N}$（在象幅的顶部和底部）	俯视	ΔY	$\Delta Y = b\Delta A$
有限扫描时间造成的影象歪斜	扫描方向 ΔY 卫星	$\Delta X \sim 216\text{ m}$	偏航	ΔX ΔY ΔA_ψ	$\Delta X = 8.88 \times 10^{4}\Delta A_\psi$ $\Delta Y = 9.26 \times 10^{4}\Delta A_\psi$

图 2-18 MSS的几何校正

处理的产品为例，它对辐射误差以及对地球自转、曲率，卫星高度、速度、姿态变化，传感器内部性能——扫描镜速度变化、全景畸变等系统几何误差进行校正。如由测得的卫星滚动和俯仰角确定每条扫描线中心点的坐标；根据偏航角和卫星航向确定扫描线方向；根据卫星高度、视角和取样速度确定比例尺系数等。但是，粗加工处理后的MSS产品残存误差仍不小（MSS胶片残存误差为743米）。这是因为遥感图象所提供的卫星参数（姿态参数和轨道位置等），并不能以足够的精度来确定每个象元的地理位置。也就是说，它的定位精度不够。因此，为了将所获的数据投影到理想的空间平面上产生精

确的换算模型，需要借助于一组地面控制点来进行几何纠正。

(1) 地面控制点的选取

几何纠正的第一步，也是最重要的一步，是地面控制点的选取。这里需要强调的，一是地面控制点应当均匀地分布在图象内；二是它应当在图象上有明显的、精确定位的识别标志，如公路、铁路交叉点，河流叉口，农田界线等，以保证空间配准的精度；三是要有一定的数量保证。校正后图象的最终精度，直接取决于这些控制点的精度、分布和数量。而控制点的精度又与图象的质量以及地面控制点位置的清晰度密切相关。

选点一般分三步：①地图选点，即根据地图或其它资料选取一组控制点（注意到分布均匀、标志明显和一定数量保证）；②在未纠正的放大图象上依次确定这些控制点的位置；③进一步筛选，删去不能精确识别的那些点，以保证纠正精度。

(2) 坐标变换

地面控制点确定后，第二步便是进行坐标变换。这里需要确定最佳的数学变换方式，建立起控制点的地图空间(统一的横轴麦卡托投影坐标或统一的高斯-克吕格投影坐标)和它的图象空间(多光谱图象坐标)之间的坐标换算函数式，从而把各控制点从地理空间投影到图象空间上去。

目前，已有许多几何纠正方法，如仿射变换法、重新采样法、直线成图法等。下面仍以粗加工 MSS 图象为例，介绍重新采样法（图 2-19）。图 2-19(a)把图象变形看成是某种曲面，地图格网是规则的平面。从理论上讲，任何曲面都能以适当高次的多项式来拟合。多项式内插法，即利用地面控制点，根据近似关系，解算相应坐标，构成一个多项式。

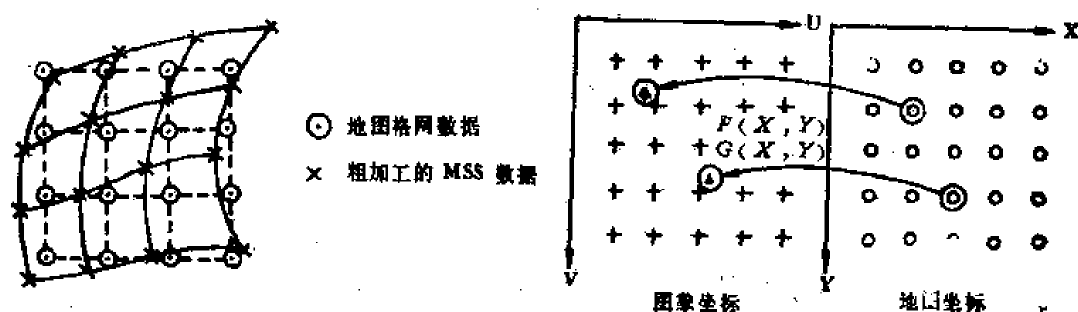


图 2-19 粗加工MSS图象的几何纠正

对粗加工MSS图象数据进行地理校正时，首先在卫星图象与地图上，对整个象幅内选择几十个控制点，分别读出各点在地图上的坐标（x，y）以及在图象上象元的行列号（U，V）。地图上的坐标可以是经纬度（以秒为单位读出），也可以是统一的横轴麦卡托投影坐标或高斯-克吕格投影坐标。图象上象元的行列号，可根据由行式打印机打出的每个象元的图形，读出控制点在图象矩阵中的位置，光笔也可以检测出。第二步，选择坐标换算函数式，即以地图坐标 x、y 为自变量，建立图象数据坐标（U，V）与地图坐标（x，y）之间的函数关系式。

$$\left.\begin{aligned} U&=F(x,y)\\ V&=G(x,y)\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

这个关系式通常是用一个多项式来表示的，可以采用1—5次多项式。但一般用2次即可，精度要求较高时，可用3次。则式（1）的函数式可为：

$$U_i=a_0+a_1x_i+a_2y_i+a_3x_i^2+a_4x_iy_i+a_5y_i^2+\cdots\cdots$$

$$V_i=b_0+b_1x_i+b_2y_i+b_3y_i^2+b_4x_iy_i+b_5y_i^2+\cdots\cdots$$

式中，U_i、V_i为第i点的图象坐标（行列号）；x_i、y_i为第i点对应的地面坐标；a_n、b_n，$n=0，1，2，\cdots\cdots$为多项式系数。

用上述控制点坐标，按最小二乘法求出多项式的系数，即换算参数。检查残余误差，探讨换算精度。若精度不够，则需重复以上过程，即改选换算函数式或改变控制点数量，直至达到所要求的精度为止。第三步，利用求得的换算参数和确定了的坐标换算函数式（又称纠正模式），对全区进行坐标变换。即根据模式解算每个象元的位置，以达到纠正的目的。第四步，图象数据内插，也就是进行亮度值的插值计算，重新建立起新的图象矩阵。重新定位后的象元在图象中分布不均，需要建立起图象的新格网，对每个新象元按一定的规则重新赋值，构成新的图象样本。这便是重新取样过程。

重新取样的方法较多。最简单的是最邻近法，即将最邻近的光谱强度赋予新的格网点。此外，双线性内插法（从邻近4个点进行内插）、三次卷积内插法（从周围16个点进行3次卷积内插）、sin（πx）/πx展开式等数学内插方法。利用内插函数能取得更好的精度和分辨率。同时，由于插值网格可根据需要加以选择，因而可以方便地进行多期图象的配准。

但是，应当看到重新采样对分类精度和图象信息会产生一定的影响。由于象元是一个复合信息，是一种综合亮度值（系数），对象元亮度值重新采样作为新的纠正点的亮度值，象元是纠正了，但其复合信息或综合亮度系数则有所变化，信息也会有相应的变化。如一个不大的水体原分布在4个象元中，因水体在各象元中所占的面积均小于1/3象元，故反映不出来。重新采样后，可能水体集中在1个象元中，面积超过1/3象元，于是水的信息便表现出来。这就是说，原始图象经重新采样进行几何纠正后，采样点地物的光谱特征会发生变化，象元移动对信息会有影响，并非保持原来所有信息，所以几何纠正对分类是有影响的。采样间隔愈大，分辨率降低，可能引起某些地物点信息的完全损失。

（二）遥感信息的投影变换

1．基本概念

用于信息复合的资料，可能来自不同的地图投影系统，采用不同的投影表达方式。因此，不同遥感资料之间或遥感与非遥感资料之间的信息复合，必须在统一的几何基础上进行，采用统一的地理坐标系统，因此必须进行某种投影变换，即从一种地图投影转换成另一种地图投影，地图上各点的坐标均发生相应变化。采用统一的地理坐标系统是多路信息相互勾通的先决条件。

通常用一定的地图投影系统来作为地理坐标的数学基础。地图投影是把地球三维空

间映射到二维空间的数学方法。投影的处理包括把地理坐标转换成直角坐标。工作中常用的地图投影有高斯-克吕格投影及横轴麦卡托投影（UTM）。陆地卫星精加工图象产品采用横轴麦卡托投影，而我国地形图数学基础主要采用6度分带的高斯-克吕格投影。这两种投影性质相似，均为等角投影，投影面为椭圆柱面，投影分带也相同。其区别在于两种投影椭圆柱面与地球切割的位置不同。高斯-克吕格投影为等角横切圆柱投影。投影的椭圆柱面与地球切于一条中央经线上，并通过地球南北极点。横轴麦卡托投影为等角横割圆柱投影，椭圆柱面不通过地球南北极，而是相割在中央经线两侧的两个椭圆上。

高斯-克吕格投影，在高纬地区变形较小，但在低纬地区长度变形较大，在纬度30°以下投影带边缘部分变形值大于1/1000。通用横轴麦卡托投影为了改善变形，使中央经线长度比为0.9996，整个投影带长度有所缩短，使变形小于1/1000。高斯投影与横轴麦卡托投影之间是一种简单的相似变换关系。

2．投影变换方法

投影变换的方法，可以归纳为两类。

(1) 解析变换法

它是在已知原投影与新投影解析式的条件下，求得它们之间变换解析关系式。常采用中间过渡的方法，即先反解出原投影点的地理坐标 ϕ、λ，代入新投影中，从而求得新投影的坐标。

若原投影坐标方程式为：

$$X=f_1(\phi, \lambda)$$
$$Y=f_2(\phi, \lambda)$$

新投影坐标方程式为：

$$x=\psi_1(\phi, \lambda)$$
$$y=\psi_2(\phi, \lambda)$$

可将上一组方程式反解为：

$$\phi=\phi(x, y)$$
$$\lambda=\lambda(x, y)$$

代入新投影坐标方程式，可得新投影坐标与原投影坐标之间的关系：

$$X=\psi_1[\phi(x, y), \lambda(x, y)]$$
$$Y=\psi_2[\phi(x, y), \lambda(x, y)]$$

(2) 数值变换法

这是在不知道原投影坐标关系的情况下，采用多项式近似的方法。建立下列多项式：

$$X=a_{00}+a_{10}x+a_{01}y+a_{20}x^2+a_{11}xy+a_{02}y^2+a_{30}x^3+a_{21}x^2y+a_{12}xy^2+a_{03}y^3$$
$$Y=b_{00}+b_{10}x+b_{01}y+b_{20}x^2+b_{11}xy+b_{02}y^2+b_{30}x^3+b_{21}x^2y+b_{12}xy^2+b_{03}y^3$$

根据两投影间选定的相应控制点的平面直角坐标 x_i、y_i和 X_i、Y_i，组成线性方程组，用解方程组的方法或最小二乘法可求得系数 a_{ij}和 b_{ij}。这样，以上多项式可成为坐标变换的关系式。这种变换，一般不是一次进行全区域的投影换算，而是分块进行，以保证变换的精度。

投影变换在一般的图象处理设备上，均有现成的软件程序，可以直接进行工作。

三、遥感信息的内容复合

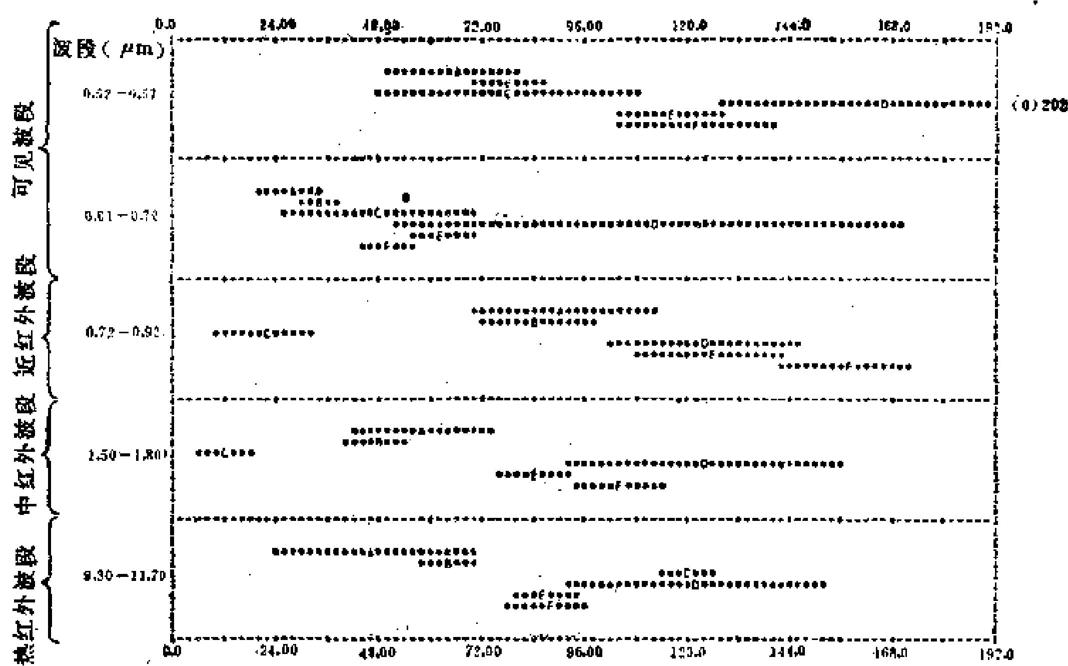
同一区域的遥感信息之间，或遥感信息与其它信息之间，在空间配准的基础上可以进行多种组合形式的内容复合，或称合成，以形成一幅新的图象。组合的形式应当根据应用的目的及各自信息的特点加以选择，以保证有用信息的突出与显示。而要达到此目的，关键在于不同遥感信息之间组合方式的选择和信息处理的方法。组合方式的确定应当依据下面的原则：根据目标空间分布，光谱反射特性及时相规律方面的特征，选择不同的遥感图象信息。它们应当在空间分辨力、光谱分辨力和时间分辨力方面相互补充，以形成一个更有利的识别环境，来识别所要识别的目标或类型。信息处理的方法多种多样，如边缘增强、彩色编码、密度分割等。目的是通过光学或数字变换，把这种有利的识别环境体现和显示给用户。

（一）多波段遥感信息的复合

遥感借助于各种不同类型传感器的不同波谱频道来获取地面物体反射和辐射特征的微弱差异。地物在不同波段的波谱响应可以差异很大。因而，一方面不同波谱段有识别不同物体的“特异”能力，例如近红外波段对水体和叶绿素特别敏感，热红外波段对温度反映灵敏，微波对地物介电常数和表面粗糙度反映尤佳。人们可以利用这些特征直接识别不同物体。另方面，人们还可以利用物体在不同波段中的差异来提高识别物体的能力，多波段的复合就是达到提高识别精度的有效途径之一。但是在实际工作中，波段的增加同样造成数据量的增加，使计算复杂化。同时，波段的增加往往使波段信息间的相关性增加。因而引起有用信息的增加和噪声误差的增加，所以并非波段选择得越多越好，关键在于选择最佳的波段组合方案。

多波段组合方案的选择可以在图象光谱统计的定量基础上进行。本章第三节中介绍的“叠加光谱图”是一种方便而直观地选择最佳光谱波段和波段组合的有效方法。Hoffer (1978)[6]用“叠加光谱图”来表示不同目标在各光谱波段上的光谱响应关系，即可以直观地反映不同类别在各波段的光谱响应特征的分布状况；可以选择区分不同类别更为有利的波段组合；同时对于难以区分的类别还可以通过在不同波段的光谱响应特征的差异，采用多波段结合加以识别。由图 2-20* 可以看到，水（类别 C）在近红外（0.72—0.92 微米）和中红外段（1.50—1.80 微米）的光谱响应都很低。在 0.52—0.57 微米波段内，玉米（E）和大豆（F）的响应比较相似，但是在 0.61—0.70微米波段内，大豆的响应比玉米低，然而到了 0.72-0.92 微米和 1.50—1.80 微米这两个反射红外波段，大豆的反射率就比玉米高。在热红外波段，玉米和大豆的响应又比较相似，森林覆盖（阔叶树和针叶树）的响应很低，水和牧场的响应较高。由于牧场区透过比较矮小、干燥的残茬，常常露出大量的裸露土壤，因此牧场区在热红外波段具有较高的响

* 该图表画出了六种主要覆盖类型在五个波段内的相对反射率和相对发射率。



不同类别的叠合光谱图（平均值±1σ）

代号　A＝类别1（阔叶树）　C＝类别3（水）　E＝类别5（玉米）

B＝类别2（针叶树）　D＝类别4（牧场）　F＝类别6（大豆）

图 2-20　多波段响应图表

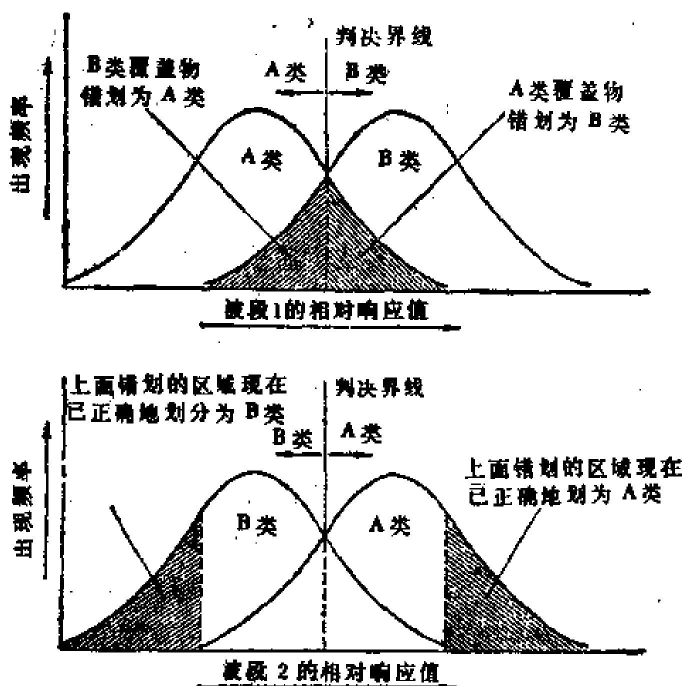


图 2-21　光谱响应的"反向"现象

应。牧场区在可见波段之所以具有较高的响应，也是由于这种原因。图中还表明，阔叶树（A）与针叶树（B）两种覆盖类型在任何单个波段都无法完全分开。值得注意的是在可见波段上阔叶树的响应比针叶树低，但是在各个反射红外波段上，阔叶树的响应就比较高，但是到了热红外波段，阔叶树的响应又变得比较低。这种现象称为光谱响应的反向（reversal）。图 2-21 表明了这种反向现象在多光谱图象信息处理中的应用价值。A 类与 B 类的光谱在波段 1 上有部分重叠，这个重叠部分在波段 2 上就比较容易区分开来。因此，尽管在任何单个波段上都不能实现这种光谱鉴别，但是将波段结合起来，往往能达到目标识别的目的。

此外，根据光谱的统计分析、计算，考虑目标的可分性大小，进行相关性研究等，以确定最佳波段组合方案，来实现目标识别的最终目的。这也是多波段组合方案选择的有效方法。

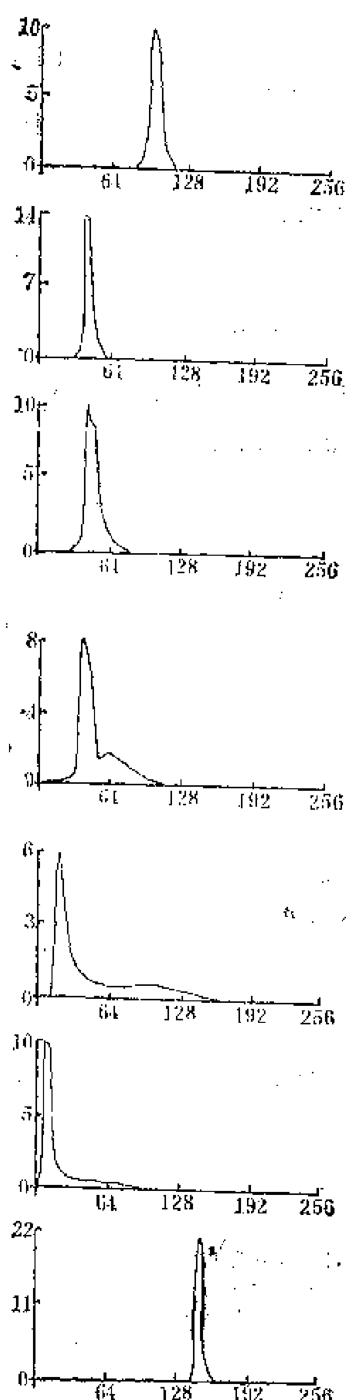
在实际工作中，选择更简便经济的信息复合方法——最佳组合方案的选择是尤为重要的。但无论采用任何一种方法，都首先必须深刻掌握有关覆盖类型的光谱特征，综合考虑目标在不同波段的波谱响应，根据不同的应用目的，分析遥感图象的成象机理，选择优化的信息复合方案，从而扩大特征信息提取的可能性，提高区分和识别一定物体的能力。

多波段遥感数据能否得到有效的判读，关键在于对不同传感器、各波段信息特征以及对各种地物的光谱特征是否具有充分的了解。对信息的涵义、谱型特征的认识越深刻，遥感分析的精确度也就越高。

1. 多光谱遥感图象本身的信息复合

陆地卫星 Landsat MSS 4、5、7波段的标准假彩色合成是多波段遥感信息复合最简单与明显的例子。

利用 TM 图象进行辽河平原新城区土地利用分类中[7]，为了使遥感图象能提供更多的识别类型和更高的分类精度，需要对 TM 的 7 个波段的信



波段顺序：1，2，3，4，5，7，6

图 2-22 试验区直方图

息特征加以分析。选择 512×512 象元的样区，作 TM 7 个波段的亮度直方图（图 2-22）并进行统计数据分析及主成分分析。结果表明，TM的 7 个波段包含的地物信息量差异很大。其中 TM 5 亮度值的覆盖等级最宽，达 187 级，所包含的信息量最丰富，占 TM 的 7个波段总信息量的 43.5%，其次是7、4、3 等波段。再通过 7 个波段光谱信息量的相关分析（表 2-4）。说明 TM 2 与 3、5 与 7 这两对波段信息彼此重叠较多，而 4、6 波段的光谱信息有较大的独立性。因而，在辽河平原高产区进行土地利用调查中，采用 TM 3、4、5 波段的假彩色合成方案，其信息量超过 TM 2、3、4 波段组合方案。它对水田与辽河河道影象的蓝绿色，将截然有别，更易于区分。

表 2-4 新城子试区TM各波段光谱相关性

波段号	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7	TM 6
TM 1	1.00						
TM 2	0.899	1.00					
TM 3	0.894	0.952	1.00				
TM 4	0.345	0.580	0.582	1.00			
TM 5	0.435	0.629	0.663	0.843	1.00		
TM 7	0.503	0.679	0.726	0.786	0.985	1.00	
TM 6	0.451	0.579	0.622	0.614	0.719	0.742	1.00

2．多光谱图象与侧视雷达图象的信息复合

侧视雷达是使用电磁波谱微波波段的一种遥感成象系统，它具有全天时、全天候以及空间分辨率高的特点。雷达信息主要提供地表物理特征信息，即反映地物复介电常数和表面粗糙度。前者反映地物本身的电学性质，后者反映地物微波后向散射特性。它不同于地形起伏，而主要取决于表面结构形迹以及植被覆盖层的影响。在前一章中我们已详细讨论了雷达成象的特点，正由于具备这些特征，使它在分析地质线性构造、地形、地表水分、居民点等方面均有很大潜力。

多光谱遥感图象则具有较高的光谱分辨率。它主要提供地表物质组份的信息，反映出地物在不同波段的光谱反射特征。多光谱图象与侧视雷达图象两者的结合，更有利于地质构造、岩性、地貌、植被、水体、居民点以及土地利用和覆盖类型等的识别。

F.Ulaby（1982）等人采用机载雷达和 Landsat 数据进行麦茬地、玉米、休耕地和牧场的分类。单用 Landsat 数据，分类精度平均为 67—75%；单用雷达数据，单日期的精度为 71.1%，多日期的为 84.4%。当同时使用 4 个 MSS 波段和 2 个不同日期的雷达图象数据，分类精度则提高为 89.4%。

法国用陆地卫星 MSS 与雷达图象，对法国比利牛斯山北坡的山麓冲积-洪积扇做了信息复合试验。所得的复合图象清晰，对第四纪不同时期冲积扇的结构与物质组成，特

别是植被覆盖的地区均能加以识别。

我国利用航天飞机成象雷达 SIR-A 与陆地卫星 MSS，对天津南部平原地区土地利用调查试验，也取得了较好的效果[8]。试验区面积约 20.5 公里×20.5 公里。区内地形平坦，没有阴影和地形干扰，地面粗糙度的差异主要反映在植物覆盖上的差异，土壤介电特征的差异主要反映出土壤湿度的变化。用1：10万地形图作控制基础，对SIR-A图象（1981 年 11 月中旬）和陆地卫星 MSS 图象（1978 年 10 月 18 日）进行几何纠正（在 I^2S101 图象处理系统上完成），使两种图象按新坐标格网实现象元点的一一对应，从而完成两种图象的配准，以便进行信息复合试验。用 SIR 图象分别与 MSS 4、5、7 波段图象进行比值处理，产生 3 个新的灰度图象，分别为：

$$N_1=\frac{M_4\cdot S}{M_4\cdot S+M_5\cdot S+M_7\cdot S}$$

$$N_2=\frac{M_5\cdot S}{M_4\cdot S+M_5\cdot S+M_7\cdot S}$$

$$N_3=\frac{M_7\cdot S}{M_4\cdot S+M_5\cdot S+M_7\cdot S}$$

式中，S 表示 SIR-A 图象，M_4、M_5、M_7 分别表示 MSS 4、5、7 波段图象。通过乘、加、除运算步骤产生 N_1、N_2、N_3 三个比值图象，再进行假彩色合成。所得的图象与其它图象相比，效果最佳。

试验证明：单用 SIR-A 图象进行密度分割的数字图象处理，可以有效地分出居民点、线形地物、旱地、水浇地四类，总分类精度达 74%；单用 MSS 假彩色合成图象进行非监督分类，对作物覆盖有较多的分类类别，但旱地和菜地混淆，居民点和线性地物不能单独形成一类而混于农田中，总分类精度达 73.6%。两者复合后的“标准化”图象，取两者所长，可有效地分出水浇地、旱地、菜地、居民点、河渠、水体、公路、铁路等 8 个类别。通过大比例尺土地利用现状图、地面实况调查以及彩红外航片的验证，结果表明，MSS 和 SIR 的复合信息，增加了分类精度，有效分类提高到 8 类，总分类精度提高到 81.7%，可以用于平原地区 1：10 万土地利用现状调查。

（二）多时相遥感信息的复合

利用不同时相遥感信息进行匹配复合，均利用了光谱特征的时间效应。一般有两个目标：一个目标是考虑要识别的地面目标，在不同时间内光谱与空间特征方面的变化规律，来选择必要的遥感信息，进行复合处理，提高识别能力和分类的精度（彩页 6(a)、8(c)）。另一个目标是，利用不同时相的遥感信息匹配复合，获得地面目标（资源与环境）变化的影象信息，以进行动态分析。如研究森林、草场资源与变化，水库、湖泊、河流的演变规律，城市的扩展状况等都具有较好效果。

1. 多时相陆地卫星数据研究水域动态变化

Keith P.B.Thomsom 等人运用洪水前和洪水期间 MSS 影象复合法，研究洪水灾害情况取得了较好效果。

鄱阳湖是我国著名大淡水湖之一。江西省境内的大多数河流均汇集入湖。河流汛期与非汛期的来水使鄱阳湖高、低水位相差十几米。有“洪水一片，枯水一线”之说。湖的高低水位间出现了许多泥滩和芦苇地。这些湿地过去是血吸虫寄生的钉螺孳生地。对它的防治涉及到鄱阳湖湖面的季节变化、湖岸变迁问题。运用不同年份、不同水情的遥感图象进行匹配处理及对比分析，可取得较好效果。同样的方法也可研究白洋淀、洞庭湖等水域的季节变化、年变化。

2．荷兰海滩土地利用调查中多时相叠加方法的应用

荷兰围海开发中，需要遥感对土地改造和利用情况进行动态监测。这儿地面平坦、土质均匀，农业土地类型复杂，作物类别多样。在进行作物识别与亩产估计中，采用了多时相遥感数据叠加的方法。

(1) 准备工作

①编农事历表。作物调查最关键的是了解季节特征。需要编制一份不同作物从播种到收获的农事历表，以便从不同作物变化最大的时期中，寻找最佳鉴别期。

②选择最佳时段。选片时注意季节变化造成的波谱效应的变化，考虑到云层覆盖、影象质量等客观原因，最后选择了1978年6月4日、7月29日、8月15日三个不同时段的卫星影象磁带。

(2) 方法概述

工作在荷兰国际技术训练中心ITC的图象处理实验室的设备上进行。使用设备包括PDP-11/34小型计算机和二个实时显示系统等。

具体步骤如下（图2-23）：

①多时相卫星遥感资料的预处理。主要指辐射校正——测试各波段的大气衰减系数，进行辐射校正，几何校正——用9个控制点进行复合配准，以6月份图象作为参考源，其余二个季节数据作为被纠正数据，从而保证误差在1个象元之内；特征选择，选用5、7波段。

②辅助资料的介入。将收集到的各种统计资料（包括校核数据）和图件（作物分布图等）进行数字化，并重新取样，以便与MSS数据匹配，结果存储于计算机磁带中，参照地面实况资料来确定训练样区。

③多时相叶面指数彩色编码图。即分别计算出三个时相图象数据的叶面指数(Leaf Area Index)：M_7-M_5/M_7+M_5，并利用计算机和扫描仪作多时相叶面指数彩色编码图。图中不同时相给予不同的彩色编码，3个月均高产的影象表现为白色，因而它对生物量的估算以及对农业动态监测判读应用很有帮助。

④训练统计。采用选择性抽样技术，对每个待分类的类别，选择特征象元进行二维特征空间中分离度的研究，以调整待分类的类别级数，建立合适的分类方案。最后，确定了11种类别，其中农作物占六类，有大麦、小麦、燕麦、油菜、马铃薯、豆类，地类5类，有城市、水体、土壤、森林、草地。对以上每一类别给予专门的代号和彩色编码。

⑤自动分类。采用监督分类的最大似然分类法对多时相的5、7波段图象进行分类。

⑥输出彩色编码分类图和统计数据。

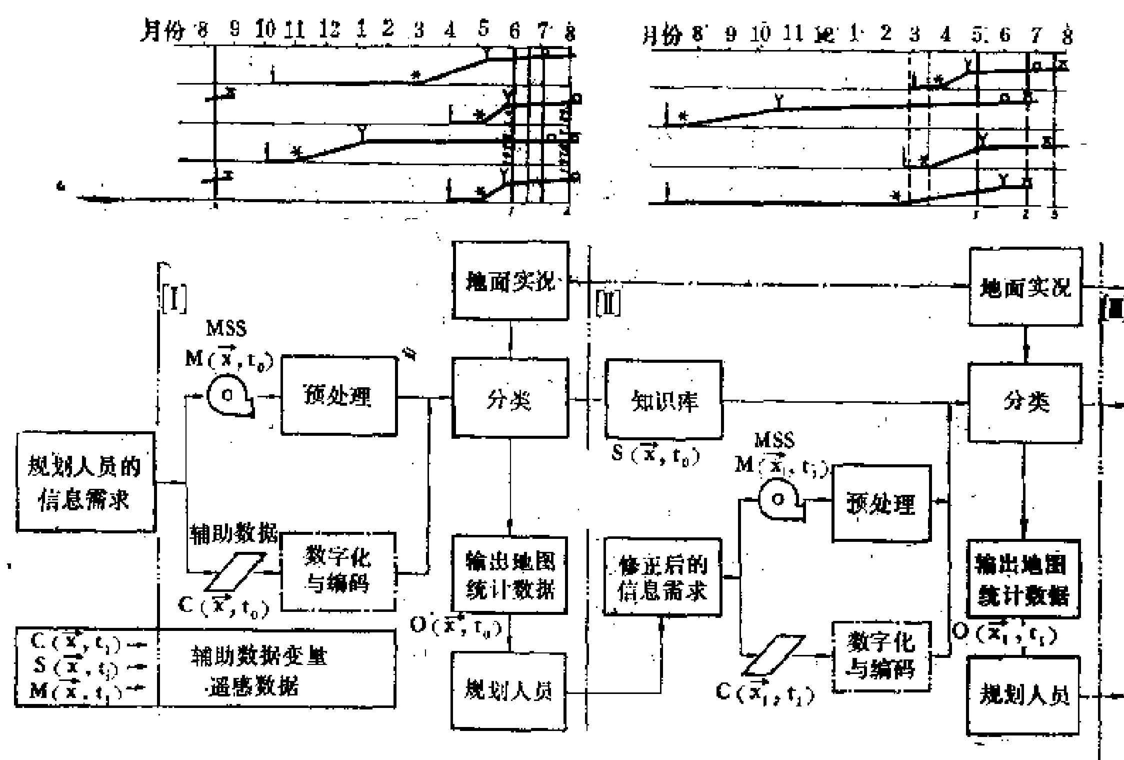


图 2-23 遥感农业清查设计程序框图

⑦分类精度评价。把分类结果与数字化的地面实况逐个象元比较。其平均分类精度为56%，尽管距实用精度要求还差较远，但比起单时相分类精度仍明显提高。分类精度的关键在于多时相数据的选择，此实验由于条件限制，选择的6、7、8月影象均是作物生长季节，植物光谱效应过于接近。这就限制了波谱本身对作物区分中的作用。时相选择的不够适当，对分类结果有影响。此外，田块的大小及长宽比、方向等对分类均有影响。说明遥感卫星MSS数据的空间分辨率适用于美苏大田块结构，而不适用于世界大部分地区农业清查的实用要求。

J.Lichtenegger (1981) 等人[9] 采用5个时相的Landsat磁带数据进行配准，形成一个包含20个变量的多时相数据集，然后用监督分类方法进行土地利用分类，共划分了包括湖、苇丛、森林、建筑区、土豆、甜菜、油菜、牧草地、玉米、葡萄园以及大麦、春麦、夏麦和燕麦等14种土地类型。它们都以相当高的精度被区分开来，平均精度达93.7%，大大超过单时相数据分类的平均精度61%。

3. 英格兰西南部耕作区地质矿产调查中多时相信息的研究[10]

英格兰西南部半岛是欧洲西部海岸一个典型的农业耕作区。除沿岸地区外，岩石出露条件极差，多被土壤及植被覆盖，土壤又多被更新世冰川融冻泥流作用而搬运，故简单的地植物学和土壤类型的研究对地质填图帮助不大。

区内主要由一套泥盆-石炭系硬砂岩组成，中夹基性火山岩和钙质岩层，并有晚石炭世花岗岩基侵入。岩基普遍伴有热液成矿作用，其中主要包括铜和锡-钨矿脉和交代矿体。区内地形与地质之间关系密切，水系明显受构造控制。水系和地形的综合解译对构造分析

起极好的补充作用。

在本区遥感地质调查中，采用以多时相的陆地卫星 MSS 和海洋卫星 SAR 为主，以航片为辅的综合研究方法。由于植被覆盖，图象的地质及构造解译必须主要依赖于最适宜的自然地理和其它地质信息及地球物理信息，方能进行该区的地质填图和矿产勘探。

(1) 多时相遥感信息的比较分析

为给地质填图工作奠定基础，对春夏秋冬(有雪与无雪)的 5 幅陆地卫星 MSS 图象进行了比较分析。研究不同时相的遥感信息在不同光照条件、不同植被生长期等因素的影响下，对不同研究对象的影象特征的不同反映，以便对不同研究目标，选择不同的或组合的多时相遥感信息。如对构造填图以冬季积雪图象（1 月）为最宜，因为积雪掩盖了农业及其它土地利用的图象特征，而地形特征却被冬季低太阳入射角(小于15°)所加强。春季（4 月）图象反映出某些基岩岩性和构造的反照率变化，花岗岩及接触变质带尤为明显。且 4 月份正值植物早期生长阶段，阔叶林冠业已形成，其它植被还相对较嫩，由于农业活动改变了植被特征，给岩性填图带来困难。夏季（7 月）林地树木叶冠和农作物已趋于成熟，土壤干燥，地面几乎全被覆盖，绝大部分构造特征难以确定。但 4、7 月份反映城市发展和农业活动的色调变化明显，可根据植被特征和土地利用特征，圈出花岗岩高地，某些火山岩层及热变质带的轮廓。秋(11 月)、冬（无雪、12 月）季植被稀少、土壤大片裸露，且太阳入射角较低（分别为 19°、12°），使阴影产生的地形视觉效应增强，有利于地貌与地质构造的显示。

(2) 陆地卫星 MSS 图象处理

①子区确定。确定了几个有地质意义的全分辨率子区图象。

②图象预处理。包括辐射校正（去条带）和几何纠正。每幅图象至少选取 15—20 个地面控制点进行复合配准。以 4 月份 MSS 图象作为参考源，对 7、11、1 月份图象进行几何纠正，平均配准误差介于 0.5—0.7 象元。再利用最邻近法重新采样，对其进行空间变换，将每一个子区象幅配准到相同的几何位置上。

③图象增强处理。线性反差扩展和分段反差扩展，以增强色调变化和结构细节。边缘增强，对每个波段采用 3×3 的拉普拉斯滤波器进行"锐化"处理，在很大程度上改善了图象的结构细节，增强了色调和结构变化的边界。多波段数据的算术运算，如 4 月份 $M_4 \cdot M_6$或$M_5 \cdot M_6$，用以增强水系和地形特征和压抑植被所产生的反照率特征；M_5/M_7或M_7/M_5用以增强角岩化和未被热变质影响的岩石间微小的色调差异。用负象作为分母进行比值运算可使热变质带得以最佳显示，如 $M_4/\bar{M}_7$ 或 $M_5/\bar{M}_6$，对区分蚀变岩最有效。而所有重要的锡-钨矿化均显示于遥感图象上的这类变质带内。

(3) 海洋卫星 SAR 图象处理

包括几何纠正以及反差扩展、密度分割、方向滤波等图象处理。雷达图象所特有的几何特性受雷达图象位移的强烈影响，对图象进行反差扩展，将有助于提高地面控制点的识别精度。重新采样，按每 4 个象元或每 9 个象元显示 1 个象元，以使图象能与陆地卫星 MSS 图象进行比较和配准。其几何配准精度为 1.5—1.7 象元。这一精度部分由于两种卫星的高度 轨道及空间分辨率差异较大所致。

(4) 多重信息复合的效果评价

①多波段、多时相 MSS 信息的复合,可以突出那些由阴影效应或植被季节性变化所显示出的特征。经反差扩展和边缘增强过的 MSS 4、5、7 假彩色合成最适合构造填图。如 4 月 M_7、11 月 M_5、11 月 M_4 对地质效果最有意义,1 月 M_7、7 月 M_5、4 月 M_4 等不仅对地质解译有益而且能表现出土地利用和地形的良好结合。1 月 M_5、11 月 M_5 能使地形反映的构造组合得到最佳显示。

②多波段多时相数据算术运算与春—冬两季合成图象数据的主分量分析相结合,对土地利用特征的压抑很有效。

③SAR 和冬季 MSS 图象的复合,由于光照方向的不同(分别为向东和向东南),使彼此间互为补充,改善了自然地理特征的显示,特别适合于构造解译的图象。

(三) 多平台遥感信息的复合

无论是航天还是航空遥感,也无论是航天遥感中的气象卫星、陆地卫星、海洋卫星或航天飞机等,由于它们位于不同的遥感平台高度,携带着不同类型的传感器,因而所获得的遥感信息的空间分辨率、视场大小等特征均有较大差异。在进行专题研究中,综合考虑多种遥感平台所取信息的特点,进行不同平台遥感信息的复合处理将是有益的。通常空间分辨率差异较大的遥感信息的复合,主要用于局部区域,在宏观性研究的基础上,选择重点区域,利用空间分辨率较高的遥感信息特点,进行复合处理,以进行细节性研究。

1. 陆地卫星MSS图象与航空象片的复合

采用陆地卫星图象与航空象片的信息复合,来进行城镇地下水调查,也能获得较好的效果(图 2-24)[11]。

勘探区位于长春市南郊大屯镇,属平原贫水区。由于构造裂隙发育不均匀,地下富水程度差异也很大。这儿植被覆盖,由于春秋季节植被特征受降水影响不大,而受地下水影响较大。因此,选用春秋季节的遥感图象,植被能以不同色调反映出平原区的地下水隐伏构造,有利于找水。

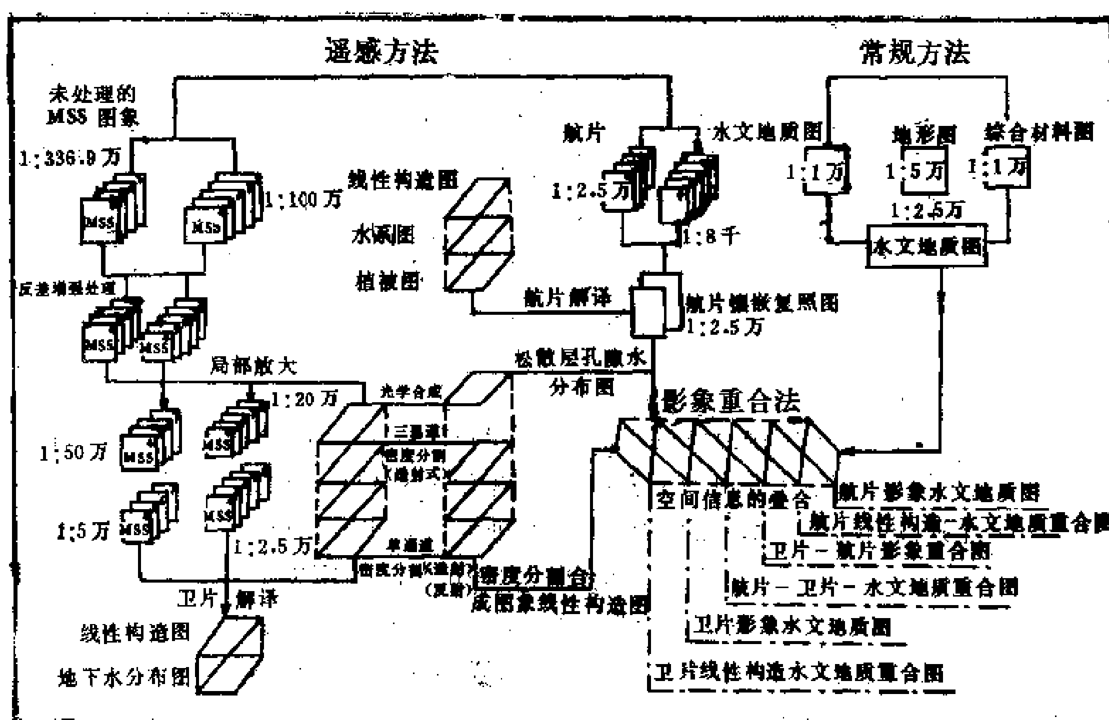
具体工作步骤如下:

(1) 卫星影象特征信息提取

对陆地卫星 MSS 4、5、6、7、8 波段图象进行反差增强和局部放大,通过目视判读,勾绘出富水及贫水区。其中 M_8 热红外图象以不同色调代表地物的不同热辐射的等效温度。由于水体比热大,自身发射率高,因而水体、含水层、湿地等地下水富集区在 M_8 影象上均显深色调(黑色、冷异常区),浅色调明亮区为贫水区,影象中,亮、暗区的色调差异把含水程度不同的断裂构造从贫水背景上提取出来,从而勾绘出该区地下水富水区及贫水区。同时进行彩色密度分割与合成,可显示出北东、北西向线性形迹。

(2) 多种空间信息的复合

即局部富水区放大的卫星遥感图象与同一地区航空象片、水文地质图等进行多种形式的复合。



2-21 多种空间信息复合技术综合概述

对典型卫星遥感图象，在固定比例尺下进行局部光学放大，以便与其它空间信息的同名点一一对应重合。用光学套合，得卫星象片—航空象片影象重合图、卫星影象水文地质图。卫星图象主要反映断裂构造形迹特征，便于宏观了解区域地质构造；航空象片主要反映微观细部构造，反映北东与北西断裂带交叉复合部位的细节，以便确定富水井位。水文地质图实际起验证作用。它们的复合图象反映了富水带位置与影象线性构造带吻合，而断裂带交叉部位更是确定富水井位的最佳部位。

地表过湿带、积水区与断裂富水带分布上的一致性、说明了断裂带存在局部破碎裂隙，而裂隙发育展宽段为地表水与地下水勾通提供良好条件。从这种自然地理环境反映的构造条件与水文地质特征间的相互关系，最后选择了同时具有地势低洼、土壤湿度大、构造凹陷区、断裂交叉复合部位、地下径流沿构造的集流点等特点的区域为本勘察区的地下水富集区。经实地勘察与打井证实，该地富水性良好。

2．SPOT图象与TM图象的复合[12]

SPOT与TM数据综合分析、处理工作中的一个技术关键是两种图象的复合配准，其中包括两种图象几何配准的重采样技术和波段组合的优选。前者决定复合图象的几何特征与精度，后者决定复合图象的光谱信息量。这两方面都制约着复合图象的质量及其应用效果与潜力。

研究区河北省南皮县，位于华北平原的南运河东侧，属黄河故道缓平坡地带。由于历史上黄河频繁泛滥改道，形成了浅平洼地、缓岗、沙岭等多种类型微地貌。该区粮食作物以冬小麦、玉米、谷子为主，经济作物以棉花、花生、芝麻为主。

选用的SPOT图象为1986年5月14日获取的，正处小麦生长旺盛时节。同时，林地、园地、草地也反映出典型植被特征，春播地植被覆盖度为20—50%，因而图象色调反映了部分土壤信息。使用的TM图象为1985年6月26日的，此时小麦已收割，且大部分已耕翻并复种秋玉米和谷子，图象色调主要取决于土壤特征，反映了土壤的温度、湿度及盐碱化程度。

在该区土地利用分类研究中，运用SPOT与TM信息复合的方法，取得了较明显的效果。

具体做法如下。

(1) 几何配准

为了保证精度，选取控制点对的工作在SPOT 3与TM 4这两个频谱相似的波段上进行。然后用最小二乘法算出一个表示TM图象与SPOT图象之间变形关系的多项式。复合配准是以空间分辨率高的SPOT为基础的，对TM图象的象元数据重新采样，使其28.5米×28.5米的象元统统归还为20米×20米，与SPOT图象的象元一致。

试验区覆盖1024×1024象元，分为四个512×512象元进行配准处理，选用81个控制点对，最大配准误差均小于1个象元，平均误差为0.47个象元。

(2) 最佳合成方案的选择

根据对TM和SPOT各波段信息特征及对试验区主要地物（植被和土壤）可分性的初步分析计算，选出10组复合图象在监视屏幕上观察其复合效果，最后筛选了两种较佳组合。

一是SPOT 3、2波段和TM 5波段。其目的在于利用TM 5波段在植被和土壤方面的丰富信息、SPOT图象的高分辨率，以及SPOT与TM的时相差别来突出线状物体的信息，加大小麦地和春播地、果园和小麦以及果园和人工草地(苜蓿)之间的色调差异。

二是SPOT 3波段和TM 5、4波段。其目的在于突出居民点的轮廓，同时也加大了果园和小麦地，果园和人工草地、灌木林地（紫穗槐）之间的色调差异。

(3) 复合效果

SPOT与TM的复合图象，从光谱特征来说，是一种不同波段、不同时相的复合，从而加大了不同植被影象之间的色调差异。从几何特征来说，利用了SPOT图象的空间分辨率高，可以提供清晰的道路、沟渠和地块间小路的信息，道路和沟渠两侧的绿化树也清晰可辨，局部地方甚至可以看到单棵大树及其阴影的信息。复合处理的图象有利于提取不同信息。其结果，在1024×1024象元的解译区内，仅有1%的图斑发生误判。

四、遥感信息与非遥感信息的复合

（一）遥感图象与地图的复合

影象地图是遥感影象与地图复合的产物。它具有一定的数学基础，有丰富的影象信息和一定的地理要素。它由遥感影象经纠正处理后与地图套合、镶嵌而成。

影象地图的发展分为两个方面，即地图影象化和影象地图化。

1．地图影象化

为了增加地图信息，直接利用卫星影象所载负的丰富信息充实和更新地图。这里充分考虑到用户熟悉地图的习惯，又考虑到影象可以丰富地图，努力使地图影象化，从而提高地图在多目标应用中的适应能力。

英国海外部土地利用调查局，以地图作为控制骨架，对卫星影象进行光学方法的几何纠正。冰川、沙漠、江心洲等原用面状符号表示的内容，均用卫星影象代替，使图变得更形象生动、正确、详细。制版时用撇膜法移植于地形图分色底版上。所制的1：100万地图上，南极的冰川、亚马逊河的网流、澳大利亚的沙漠等，比旧图形象生动得多，也更加详细。在图上，城镇、居民点、道路网等的新变化，从影象与符号的差别上一目了然。不仅使图得以更新，而且利于动态分析。完成这样一幅图仅需24—36小时。

2．影象地图化

为了提高影象的应用价值，既考虑到影象的丰富信息，又考虑到地图的数学基础，努力使影象地图化，以经几何纠正的影象地图形式加以表达。或者为了适应专题分析的需要，从卫星影象提取某种专题特征信息，加上部分地理要素，以专题影象图的形式加以表达，以提高影象在专题应用中的适应能力。

（1）日本国土地理院遥感部，利用陆地卫星CCT磁带，每幅采用20个地面控制点，通过一套专用的图象处理系统（PTP 1140计算机，带扫描输入、输出设备）进行几何精纠正处理。并与简化的地形图要素套合，称之为“卫星画象（写真）合成图”，约有三种形式：

①1:50万天然彩色影象图。它用MSS 4、5、7三个波段按近似天然色合成，经纠正套上格网，再加上注记不多的地图要素。

②1:20万都市及平原地区的土地分类图。如东京地区土地覆盖分类图，划分为12类。分类后，按地图纠正（与地图复合），图上有格网、注记、地名、道路等。

③1：5万山区合成影象地图。套印地形图等高线及各种符号注记，并将卫星影象的阴影反转过来，使光源来自图幅西北（而呈正立体），产生晕渲的效果。

这种影象地图最大优点是更新快，地形图上陈旧的内容，一匹配便显示出来，便于掌握动态变化，更新地图。

（2）中国卫星影象地图（1：400万），为单波段光学镶嵌的影象地图。它是由657张卫星象片，经不严格的纠正后，在一定的数学基础上镶嵌而成。该图以亚尔勃斯双标准纬线等积圆锥投影的全国地图（1：400万）为基础，然后在硬图板上用精密坐标展点仪展绘经纬网作为影象镶嵌时定位的依据。此图宏观地展示了我国陆地范围内的水系、地貌格架，在大地构造分析等方面也发挥了很好的作用。

1：100万国际分幅的影象地图，利用特征地物点作为平面控制，在纠正仪上进行纠正和光学镶嵌而成。已由国家测绘局陕西省测绘局编制，以作为国家基本地图，提供用户使用。

（3）气象云图套合地图地理要素——海岸、河流、疆界、经纬度等，便于分析应用。方法多种多样，如英国运用一套透明模片扫描上去机械套合，误差在允许范围内；

复旦大学数学系运用计算机数字扫描配准。

(4) 数字分类与专题地图合成影象专题图。孟加拉陆地卫星计划部编制的1：50万"孟加拉土地利用组合图"，利用1976年12月15日和1977年1月2日，1977年2月6日—10日的6幅陆地卫星影象，进行计算机分类，再叠加上1971年"土地利用组合"专题图，对地类界线加以修订和补充，划分了31个类型。这种影象分析与地图编制的混合方式，使分类精度提高。

(二) DTM与遥感数据的复合 (彩页5(a))

数字地形模型 (the Digital Terrain Model, 简称 DTM) 是地形的数学描述，数据存储多为等距格网模式 (矩阵形式)。这类似于由各种多光谱行扫描仪 (MSS) 获得的数字图象信息的存储形式。因此，DTM 与遥感图象数据之间的复合，在数据格式方面是十分便利的。最常用的是以地形高程值建立的数字地形模型，也可称数字高程模型 (DEM)。DTM 的数据采集可以通过遥感图象的立体象对、地形图的等高线等，从各类立体测绘仪上直接输出或用扫描数字化仪、手扶跟踪数字化仪以及人工采样来完成。由 DTM 可以恢复等高线图，派生出坡度图、坡向图、地势图等，也可以将它作为一种参数与其它数据一起直接用于数值运算。

DTM 与 MSS 两者的复合，主要表现在两个方面。

1. 用 DTM 来校正 MSS 数据

通过地面控制点的几何纠正，并不包括对地形起伏而造成的位移的改正。而在地形起伏地区，对于 MSS 数据的精确纠正，必须考虑因地形起伏所造成的象元位移。因而在 MSS 数据精校正中，在利用地面控制点的同时，利用 DTM 将明显地减少误差。

Janne Larsson (1980) 在瑞典北部地区作了试验[13]。根据 1：2 万正射影象地图选取 21 个地面控制点，在未纠正的 MSS 红外遥感图象上确定这些控制点的位置。作为正射影象地图的副产品，可以获得一个间隔甚密的 DTM。它的密度对 1：2 万影象地图为 100 米，高程精度为 5 米；而对 1：1 万影象地图为 50 米，高程精度为 3 米(精度由地图之间重叠带中剩余均方根来估算)。根据地面控制点对 MSS 图象数据进行几何纠正，即把 MSS 数据纠正在一个由一组控制点所组成的空间平面上 (根据控制点剩余误差的内插)，同时把纠正了的 MSS 图象数据进一步纠正在 DTM 三维模型上 (由地形起伏引起的误差的内插)。这里需要计算其纠正参数，最后得出一幅改正和重新采样的几何精纠正图象。这种由于地形起伏引起的误差内插，仅在控制点之间才能表现出来，因此，这里的 DTM 实际起着加密控制点的作用。这样利用 DTM 进行纠正，扫描图象边缘误差减少 50%，中心部分和边缘部分一起，误差减少 30%，明显地提高了 MSS 数字影象的精度。

2. DTM 参与 MSS 分类

DTM 参与 MSS 分类，利用地形高程信息，即地形起伏参数作为辅助信息，从而改善分类精度。

Janne 的试验主要采用地面粗糙度，而不是绝对高度和相对高度。地面粗糙度是用

DTM四个最近结点相互之差的绝对值的平均数来表示。把它作为辅助数据参与MSS分类。该试验区划分了六种地类：砍伐森林区、沼泽、林区、其它空地（无林区）、水体和未利用土地。通过对利用DTM辅助信息与未利用DTM的两种分类精度的比较，并用专题调查图检验两种方法（有DTM与无DTM）的分类结果，可见分类可靠性明显增加，沼泽48—59%，砍伐区29—48%。结果表明：利用合适的DTM辅助数据可以大大改善多光谱分类精度。

J.A.Richards等（1982）在森林分类时，把地形高程数据和遥感数据组合在一起分析，使分类精度由68%提高到81%。

（三）遥感与地球物理、地球化学信息的复合

遥感与地球物理、地球化学信息的复合主要应用在地质研究和地质找矿上。不同的地质调查方法，从不同角度提供各种不同的地质信息，但任何一种单一方法所获得的信息仅能反映出地质目标的某一侧面或某种物理化学属性。地球物理信息（地球重力场、地磁场等）反映了不同深度地壳物质的物理性质，包括内部结构、物理组成、基底表面的起伏等。这是由于地壳结构特点、不同类型的地质体或矿体的分布以及伴随的复杂地质现象所引起的。地球化学信息反映了不同深度地壳物质的化学性质，包括组成成分、化学元素含量、分布、赋存形式等。这是由于复杂的内外力作用引起的。它决定了不同化学元素的不同结合方式以及控制着化学元素的迁移、集散、演化等。

地球物理及地球化学特征的变化，不仅涉及到化学元素内部电子跃迁、原子振动、分子转动等微观变化，影响着地物本身的物理化学性质、波谱反射与辐射特征，还涉及到地貌、植被（密度及类型）、土壤等宏观变化，控制着地物的空间组合与空间分布特征。这些变化可以通过遥感图象的影象特征部分地反映出来。

遥感图象上的信息是地表物体特征的综合反映。它记录的是地表电磁波谱特征。不同种类地物的时空分布均受到区域自然地理条件和区域地质构造等因素的制约。因此，影象特征的差别主要取决于地物本身的属性以及自然地理条件和复杂的地质构造因素等。一些深部特征往往能够以不同形式反映到地表上来。从地质角度看，遥感图象尤其便于确定具有地质意义的地表线性体、环形体。它通常是由地形、植被、土壤、岩石、含水性等的差异以及空间组合特征局部变化表现出来。在遥感图象上则以光密度值的差异得以某种程度的显示。地物的地学属性与它们的影象特征之间具有明显的相关性，如断层与线性形迹、火成岩与环形形迹等。这种相关性在不同的地区有不同的表现，一些学者对此进行过专门的研究。遥感与物化探、地质、地形等多种地学数据进行匹配复合、相关研究、综合分析，不仅可以清晰而直观地反映出各种数据间的相互关系及各种地球物理场和地球化学场的空间分布，掌握自然作用的内在规律，揭示图象的成象机理，而且可以准确而有效地提取有关地质信息，利于进行各种地质分析、成矿预测、水文勘探等。

遥感与地球物理、地球化学资料的匹配复合，首先需要将专题信息数字化形成数字图象。一般的地学数据有3种形式：点、线、多边形。点数据是表示某一地点的某种状

态的测量值，以地球化学分析数据最为典型，它与特定的采样点有关，即具有空间分布的概念。线数据主要指各种地学界线和特征线，如地层、地类、自然区划、行政等界线以及构造线、等值线、道路等。多边形数据是关于一个二维地区的信息，可以是某种岩石露头区域、森林覆盖区等。任何二维数据集或图件如地质图、地形图、各种物化探数据等都可以通过数字化、网格化、地学编码、空间量化等方法以灰度图象的形式予以表示。这些数据多以专题图件、等值线图、表格以及图象、磁带等多种形式提供。它们的比例尺也很不相同。由这些数字数据还可生成其它一些数据集，如断裂密度、背斜轴位置、化学元素比值等。各种数据集的信息必须互相结合、综合分析。这就需要运用图象处理技术，将不同的地学数据集配准到统一的坐标系统上，形成以图象为基础的综合数据库。每一种信息源或各数据集中的每一种属性都可作为图象数据库中的一个数据层进行存取。对各种数据的复合处理基于对概念地学模型中相应数据集的评价。遥感与非遥感地学数据的各种复合处理和综合分析，由于很容易产生新的数据表示方法，因而可以快速评价，不断修改和完善地学模型，以及突出各地学信息之间的关系，同时有利于地学信息的专题特征提取，并可以得到单源数据研究中不能显现的信息。

下面举几个例子说明。

1．铀矿勘探中地质、物探和陆地卫星数字数值的综合应用[14]

利比亚工业研究中心为了在区域铀矿勘探中利用地质、物探以及陆地卫星有关变量来预测异常区，对利比亚南部吉巴尔埃格亚地区（面积约17500平方公里）的地质要素进行了定量处理，综合运用地质、物化探和陆地卫星等数字数据作多元判别分析，建立了成矿远景预测的数学地质模型，以便揭示各地质要素内部的主要关系及它们与铀矿床的关系，建立起发现放射性矿床的较有力的和较广泛的标志，确定出几个可供详细勘探的远景区。研究区属恶劣的沙漠气候条件，所有放射性异常带都出现在花岗岩或流纹岩区。

具体工作步骤如下：

(1) 选择试验区，划分网格子区

①认真研究全区地质条件，选出各地质变量在全区有代表性的训练区。

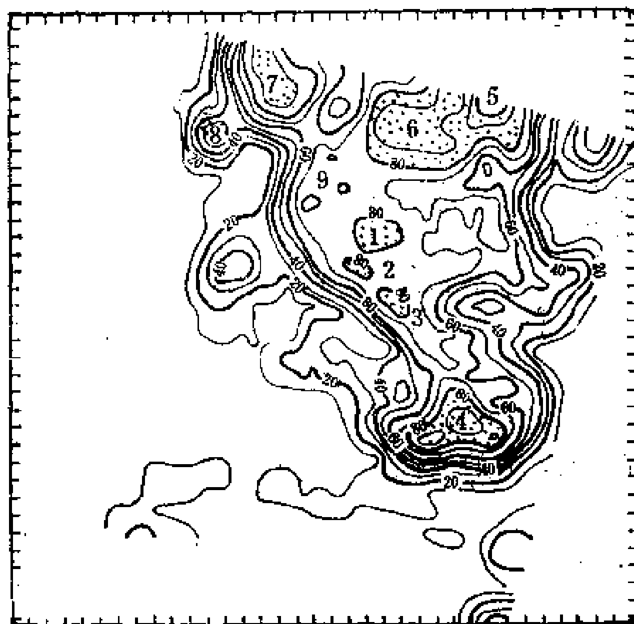
②陆地卫星图象几何纠正，并放大到1:5万，与地球物理图匹配。

③按1:5万比例尺打上网格线，其间距是8×6象元。这样，研究区内包含有3364个子区，每个子区面积480×458平方米，在1:5万图上相当于1平方厘米。

(2) 变量的选择和数据的获取

对于数学地质模型，选用了43个变量，其中地质变量31个，包括岩石类型及时代、接触关系、构造关系等；物化探变量2个，有航空放射性(总量)及航磁值；陆地卫星有关变量10个，如陆地卫星MSS 4个波段的平均亮度值以及6个比值(7/6、7/5、7/4、6/5、6/4、5/4)。地质变量来自于各类专题图，将8×6象元的网格重叠在1:5万专题图上，把每个子区再进一步划分为90个亚子区，以便数字化。各地质变量如岩石露头的数量、接触线长度等都按亚子区的百分率加以估算。

(3) 数据分析与处理



数字 1、2、3、4系已知异常区内的异常，数字5、6、7、8和9是预测的地带

图 2-25 基于地质、物探和陆地卫星信息正确分类为异常组的概率图

所有子区的变量值提取后，进行统计分析、相关分析、判别分析。由变量间相关矩阵可看到，地质变量与陆地卫星单个遥感波段间相关性较低，但早前寒武系交代沉积岩与波段 6/5 比值、6/4 比值，寒武纪构造伴生的花岗岩与 6/5 比值间均存在正相关关系，航空放射性总值与陆地卫星4个波段为正相关，航磁值仅与波段 7 为正相关，相关系数 0.62—0.90。这表明遥感影象特征与地质、地球物理数据之间存在着某种联系。这种相关性是选择变量的依据，也为确定图象处理方案提供了理论基础。基于对测区物探特征的了解，确定放射性读数大于或小于 1200 计数 / 秒，分别为"异常"与"非异常"两类总体。由上述变量已知数据可以建立判别方程式，计算判别函数。由于采用逐步判别分析方法(Stepwise discriminat analysis)，即不是同时用所有变量解判别函数，而是按判别能力的递减顺序逐个分析（由计算机程序完成）。因而，不仅能对全区各子区进行判别分类，圈定异常区范围，确定进一步详细勘查的靶区（图 2-25）；而且能确定出判别异常与非异常区的最合适的变量组合（表 2-5），建立起圈定放射性矿床的标志。判别处理中证明，最有效的地质变量是接触关系，陆地卫星第 6 波段以及波段 7/4 比值也是十

表 2-5 根据对异常与非异常组判别的贡献大小排列的地质、物探、陆地卫星变量

所用变量(按优度递减排列)	F 值*
寒武纪构造同生花岗岩与下奥陶纪条带状流纹岩的接触长度	392
MSS 6 波段平均亮度值	255
早前寒武交代沉积岩与始新世玄武岩流的接触长度	173
波段 7/4 比值(平均亮度值比值)	107
分布有下奥陶系条带状流纹岩的子区的百分率	101
分布有古新世交错层状砂岩子区的百分率	98
分布有早前寒武系交代沉积岩子区面积的百分率	96
下奥陶系条带状流纹岩与小侵入体及岩脉(大部分为伟晶岩及石英)的接触长度	62
早前寒武系交代沉积岩与下奥陶系条带流纹岩的接触长度	39

* F 值表示每个变量对判别组合的贡献。

分重要的参数。分类结果是综合应用陆地卫星与地质、物探数据的分类精度达89%，高于其它任何单方面因素的分类方法。

2．我国南方大厂成锡花岗岩体遥感图象影象特征与地质、物化探异常的复合[15]

研究区内的成锡花岗岩，属酸性-超酸性、富碱的铝过饱和类型，平均含锡达33.12 ppm，高出世界花岗岩的平均含锡量（3ppm）10余倍。岩体多呈隐伏和半隐伏状。据钻探及重力、航磁等资料证实，成锡花岗岩的总体是一个由底部岩基和上部岩突、岩株组成的复杂形状地质体，平面呈近等轴形态。在遥感和物化探数字图象上常显现出圆形或环状的影象特征。

以大厂隐伏岩体为例：

（1）陆地卫星图象上呈环形构造群。这种环形构造常具有同心层结构。环形构造内线性构造发育，有的多组线形构造交织呈网状，有的呈放射状展布。有些环状构造中心与多组线形构造汇聚处一致。

（2）航磁数字图象上呈环状磁异常，即围岩的正磁场在岩体边界的低缓正异常衬托下，显示出岩体为环状负磁场异常。

（3）重力数字图象上呈封闭式的环状重力低异常。这是推测较深部岩基范围的重要依据。

（4）化探Cu、Pb、Zn、Sn次生晕圈的色环、色带显示的环状异常。

将以上各数字图象与岩性、地质数字图象进行复合处理的图象，反映出各种异常在平面上的叠合，由中心向外为弧形的航磁正异常环带—→次生晕化探异常圈—→卫星图象上显示的环形构造—→重力低异常圈（图2-26）。

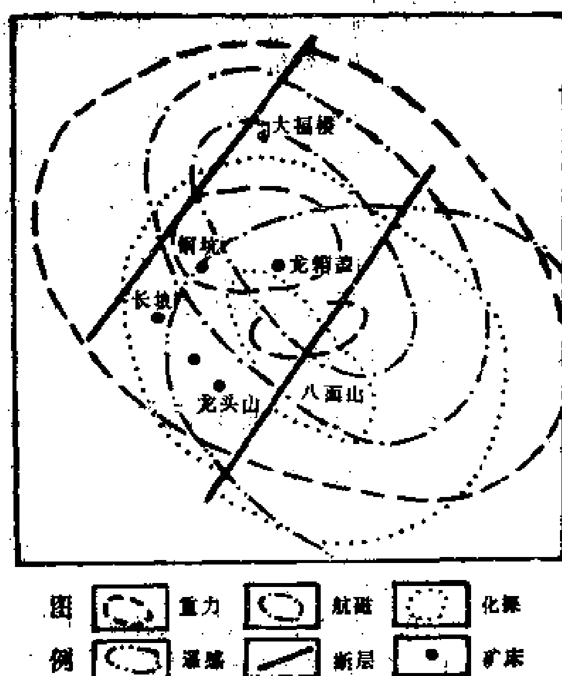


图 2-26　大厂地区各种数字图象的环形影象叠合图

在单一类型图象上，由于地质因素的复杂性，往往并不能完全确定异常或特征分布区就是矿化岩体所引起，只有经过复合处理显示出的综合地质信息晕圈才能确定成锡花岗岩体或隐伏岩体，从而预测锡-多金属矿区的可靠标志。

3．斑岩铜矿探查中物化探和陆地卫星数据的复合[16]

图2-27为一般斑岩铜矿区的地质特征示意图。图中可见航磁地球物理数据和Pb、Zn、Cu、Gr、Mo等地球化学数据是铜矿化最有用的指示数据。

阿拉斯加斑铜矿勘探中，各种地球化学等辅助数据多为统计表格、等值线图、专题图形式。将其数据网格化，采样密度1公里×1公里，数据稀者必须内插到1公里的网格

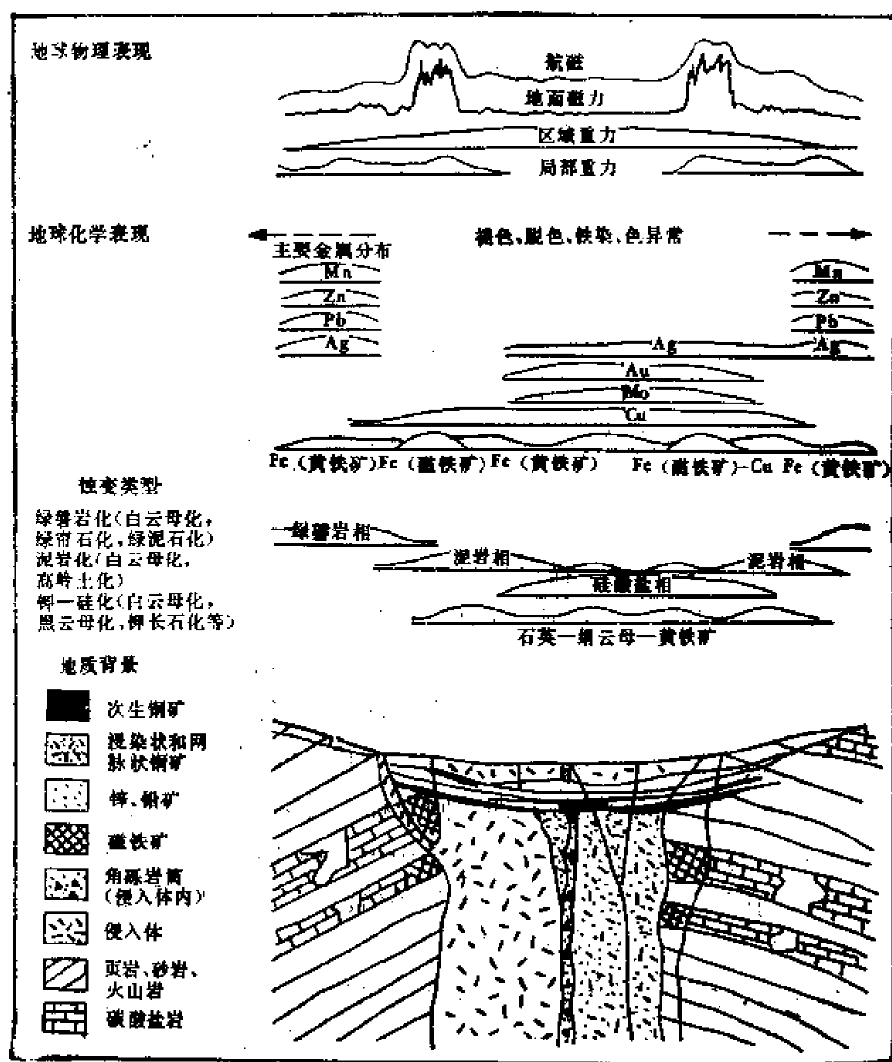


图 2-27 一般的斑岩铜矿区地质特征示意图

值。采集的数据均可按统一的坐标系统，即定位到 UTM 坐标上，产生数据集。经数据处理变换得到一些有成矿指示意义的复合数据，如铜/铬的比率视为石英二长岩（斑岩型铜矿）中铜矿的指示标志。

将这些数据集和陆地卫星 4 个波段的数据配准复合，用三种图形显示：①灰级图，②三色叠加图，③三维图。这些图形对识别铀矿分布和碱金属地段的铜铅锌矿床均显示比不同类型地质数据集分析的效果好。在这些复合图象上，一些相关关系会变得明显，如某些数据图形与岩性相关，另一些组合指示矿化范围等。

4．陆地卫星图象与区域地球化学数据的有效复合[17]

研究区位于加拿大中育空地区佩利山脉。该区以陡切河谷所切割的崎岖山脉为特征。区内大部分由古生代页岩、燧石、碳酸盐岩石组成，代表被动大陆边缘系的一部分，白垩纪长英质火山岩，石炭二叠纪蛇绿岩质铁镁质岩石和超基性岩石发生逆掩。区内有白垩纪花岗岩株和岩基侵入，已发现有多种类型的金属矿床。

在研究区内开展了水系沉积物和水样地球化学调查。采样密度为 5 平方英里（合

5×2.59平方公里)。对水系沉积物样品分析了Zn、Cu、Pb、Ni，Mn、Fe、Ba、Ag、Mo、W、U；对水化学样品分析了U、Pb值、粉糠剂（flourine)。将这些数据与地质图、地形图、矿产分布图及陆地卫星数据作综合分析，用以识别那些可以指示有利于特定矿产产出的环境异常。

（1）图象数据库的准备和应用

分析所用的全部数据都转换成格网形式，与同一底图进行配准。象元为100米×100米。

①地球化学数据:水系沉积物地化数据包含860个采样点样品的12个元素的分析数据。每一元素形成一幅数字图象。每幅图象上凡有样点的象元都赋以1—255的值，浓度在检出限内赋值为1，浓度大于95%的赋值以255，中间浓度则线性拉伸成2—254。每一幅元素图象产生转换表，列出每一给定值所对应的元素浓度。这样以象元值表示元素的浓度构成特征文件。

②地质图和地形图：两图用扫描摄象机进行光电数字化(即扫描数字化)，生成红、绿、蓝3幅图象或合成彩色图，也可成单幅黑白图象。

③矿产分布图：图象扫描输入并与地形图配准。将其显示在监视器上，以各种不同符号勾绘，交互式进行着色，生成一幅新的图象，以色彩符号表示感兴趣的矿产分布。

④陆地卫星图象：图象与地形图配准，重采样成100米×100米的象元。

以上一幅数字图象信息至少二维，即空间坐标x、y，加色则增加一维，色深浅（由图象内的数据计算出的视“深度”）又加一维……。因此，即使单幅图象也能包含丰富信息，而不同数据的图象序列会使信息扩大许多倍。

（2）图象处理

图象处理包括多种信息复合处理以及几种地化数据文件的处理，形成一些特定元素组合的地球化学高值异常，来指示某种确定类型矿产的存在。如Pb浓度>50ppm，Zn浓度>300ppm，Ag浓度>0.3ppm的地区可以作为一个专题类型显示，叠加于地形图或地质图上。

（3）数据分析

Pb浓度以彩色编码的小方块表示（彩色深浅表浓度高低，Pb浓度>50PPm者具地质意义)，将之叠加于地形图数字图象上。它形象地反映采样点分布、高样点的位置及每个样点所代表的汇水区域。若将Pb浓度小方块叠加于注有重要已知矿点的地质图上，可以看出多数Pb异常位于已知矿点的溪谷中，但还有不少与已知矿无关。将矿床分布、地质、水系、陆地卫星数据与地化异常图叠合，以色彩突出显示一些特殊的特征，如元素浓度、特定矿床产地、特殊的地质单元等。同样的方法可以研究Zn、Ag……异常或它们叠加的异常等。这种陆地卫星与地化、矿产等信息的复合图象，易于将地化数据异常与已知矿点作比较，寻找水系沉积物异常、汇水盆地、矿产之间的内在联系，以便圈定最有利的成矿远景区，选择新的勘探靶区。

此项工作运用了加拿大的ARIES系统。在此图象处理系统上，背景图象（地形图、地质图、陆地卫星图等）很容易改变，而地化异常和已知矿点的符号不变，以利于对所

有地化异常进行快速叠合和空间解译，以及进行多种分析。

5．安徽铜陵地区地质找矿中，遥感信息与物化探等数据复合方法的应用*

安徽铜陵地区是我国重要的铜铁产地。区内地质工作程度高，积累了不少地质、物化探等地学资料，并有多处已知矿床和矿点分布。主要矿产为矽卡岩型和斑岩型铜铁硫矿床及多金属矿床。工作中，对陆地卫星图象、地层、断裂、矿产、航磁和航空放射性等8种资料进行了配准叠合，并进行了若干初步处理，取得了较好的地质效果。

具体步骤：

（1）对地质图（1:20万）、矿产图等非数字形式的资料进行数字化、网格化、地学编码，生成数字图象。其中地质图可分解为地层图、矿产分布图、断裂构造图。

（2）对非图象数据进行图象化，生成数字图象。将物化探数据（航空磁测ΔT数据和K.U.TH航空放射性数据等），均为二维在数据在空间上量化，转变成图象。这种图象较表格或等值线图更直观地表现出物理场的分布及其细微特征。

（3）由陆地卫星MSS（1973年12月24日）图象，经目视判读，绘制出线性影象与环形影象图。

（4）以地形图（1:20万）为基础，选择近30个控制点，对各种数据进行几何配准，在统一的坐标系统下形成一个多维图象数据文件库。经过多次叠代，最后拟合精度为1.5个象元（象元分辨率为65.7米）。

（5）对多维图象数据进行各种方式的叠合显示和综合处理。如，以地层资料为背景，对航磁、航放资料作三维透视立体显示，可形象地反映异常的位置、范围、强弱以及它与不同地层单元的关系；航磁资料的彩色密度分割，即给某一强度间隔的磁场赋以某一色彩，不仅提高了磁场的分辨率，而且使构造线的延伸趋势也更一目了然。此外，对三种以上的数据和图象进行多种形式的复合而显多种综合图，如线、环形体—断层—矿点综合图，地质—磁法—卫片构造解译综合图，卫星图象—矿点—构造解译综合图，磁法—MSS 5 图象—线性体合成图象等。它们利于多种数据的对比分析，直观地显示数据间的相互关系，有助于成象机理和找矿规律的研究。

复合效果明显地反映在：

（1）构造格局更加清楚。区内主要有北东、北西、东西、南北四组断裂。北东向多为走向断层，时代较老，线性影象多与地层界线重合；北西向多为横断层，时代较新，卫星图象上比地质图上显得多而长；南北向大致等距分布，呈锯齿状断续出现，具明显张裂性质；东西向呈等距分布，最重要的一条为区北的铜官山—狮子山断裂，有一宽断裂破碎带，区内主要矿床和出露岩体几乎都沿该带分布，为重要的控矿控岩断裂。

航磁图反映较深部构造。从航磁图与构造图的复合可以看到，东西向断层多位于正负磁场梯度带上，南北向断层位于等值线明显收缩和中断处，航磁高值局部异常呈北东向展布，北东、北西向均有明显错位和局部收缩现象。据航磁延拓结果，地表下500—1000米，北东、北西向异常消失，仅剩下东西、南北向两组，则说明后者为深部的控岩

* 王滨生等：遥感信息与其它地学数据的综合显示处理及其在地质找矿中的应用，1985年。

控矿构造，而前者为浅部构造，主要控制局部小岩株、岩脉和局部岩体产出。

（2）环形构造为深部或地表岩体的反映。区内有大小多个环形体。从磁场一构造复合图上可见，一级环形构造（整个铜陵地区的大环形体），与低缓区域磁场分布区近相吻合，为深部一完整的大型岩体隆起区的反映。岩体形态受东西、南北向深断裂控制。局部磁异常上都有次级环形体。它与已知岩体相对应，是近地表的小岩株、岩枝的反映。因此，本区的环形影象在很大程度上可成为隐伏岩体的间接解译标志。

（3）成矿的构造地质条件分析及成矿预测。区内的矽卡岩型矿床及斑岩型矿床，主要与燕山期中酸性岩体有关，而隐伏岩体又与环形构造影象密切相关。同时，从已知矿点分布分析，它除与环形影象相关外，还多位于几组断裂的交叉部位，以及产于岩体与石炭—三叠纪灰岩接触带上。由此看来，可以选择同时具备以上三个条件的环形体作为成矿的有利部位。

陆地卫星图象与物化探等多种地学数据的复合方法，具有清晰直观、形象逼真、定位准确、便于解译的特点。对该区的构造格局、岩体分布和成矿规律都有了进一步的认识，并初步找出了一些可供进一步工作的远景区。

参考文献

〔1〕S. Shlien，陆地卫星图象的几何校正、配准和重新取样，*Canadian Journal of Remote Sensing*，No.1，1979

〔2〕村井俊治等：地球资源卫星图象数据的地理校正，《写真测量》，第4期，1974年

〔3〕李国藻：双标准经线等角横圆柱投影，地图投影论文集，测绘出版社，1980年

〔4〕吴忠性，杨启和：在电子计算机辅助制图情况下地图投影变换的研究，（同上）

〔5〕陈述彭，黄绚：陆地卫星影象制图及其应用，地理学遥感技术应用论文集，气象出版社，1987

〔6〕P.H. Swain，S.M. Davis：Remote Sensing: The Quantitative Approach，McGraw-hill International Book Conpany，1978

〔7〕戴昌达等：TM数据的信息特征，《遥感信息》，第2期，1987

〔8〕刘纪远等：航天飞机成象雷达（SIR-A）图象在土地利用调查中的应用研究，《地理科学》，第5卷，第1期，1985

〔9〕Lichlenegger，Jand Seidd K.，Detailed Cand use Classification Based on Multitemporal Landsat MSS Data，*Proceeding of the 15th International Symposium on Remote Sensing of Envtronment*，Vol.2，1981

〔10〕Jeremy M. J.，John M. M.，英格兰西南部耕作区地质填图和矿产勘探工作中的多季节图象研究，*The 4th Thematic Conference, Remote Sensing for Exploratton Geology*，No.1-4，1985

〔11〕孙玉珍，张福山：用遥感技术为城镇找地下水，《遥感信息》，第1期，1986年

〔12〕胡德永等：SPOT图象及SPOT和TM复合图象在河北省南皮县土地利用分类中的应用研究，第二代资源卫星的应用，测绘出版社，1989年

〔13〕J. Larsson, The Use of a DTM in a Digital Multispectral Analysis, *Proceeding of The First Scandinavian Conference on Image Analysis*, 1980

〔14〕铀矿勘探中地质、物探和陆地卫星数字数值的综合应用，遥感专辑（第二辑），地质出版社，1982年

〔15〕植起汉：中国南方成锡花岗岩的遥感和物化探数字图象特点，《遥感地质》，第3期，1986年

〔16〕S. Aronoff, O. Hawkins，图象处理用于矿产和石油勘探中的数据综合分析，*IEEE Spatial information Technologies for Remote Sensing Today and Tomorrow*, 1984

〔17〕S. Aronoff, W. Goodfellow，图象处理对区域地球化学数据的有效分析，*Advanced Technology for Monitoring and Processing Global Environmental Data*, 1985

第七节　地理信息系统

一、概　况

（一）定义

地理信息系统(Geographic Information System——(GIS)，是管理空间数据的计算机系统。这里的空间数据指不同来源和方式的遥感与非遥感手段所获取的数据，它有多种数据类型，包括地图、遥感、统计数据等，其共同特点是都有着确定的空间位置。地理信息系统包括空间数据的输入、存储、检索、运算、显示、分析和输出等。

这里“地理”二字，是广义的。它并非指地理学，而是指地理坐标参照系统。实际上，就是个空间的概念，也就是按地理坐标组织数据。所以可以理解为“空间信息系统”，或称“资源与环境信息系统”。地理信息系统(GIS)与其它管理信息系统(MIS)（如情报检索系统、档案管理系统、财务管理系统、商业信息系统等）的最大差别在于，这种系统的处理对象为空间实体，它的工作过程（查询、检索等）主要是通过空间实体的空间位置与空间关系来进行的，当然也可以通过它们的属性。它对空间数据除管理、检索外，还必须进行各种运算和分析。输出除表格、文字、数据外，主要形式是图形（各种专题图等)。而MIS是通过属性如人名、书名、出版日期等来查寻，没有空间的概念。

地理信息系统主要供分析和管理在一定地理区域内分布的各种地学、社会现象和过程之用。如果说，地学的第一代语言是文字描述，第二代语言是地图的话，那么，地理信息系统可称之为地学的第三代语言——用数字形式来描述空间实体。地理信息系统结合地学、计算机、系统工程、经济管理等各学科的知识，是跨学科的技术系统。为资源与环境的综合评价、管理、定量分析和辅助决策服务。

（二）发展概况

世界第一个地理信息系统（GIS）应该是加拿大国家地理信息系统（CGIS）。它主要是为处理加拿大土地调查获得的大量数据而建立的。于1963年开始，1971年正式运行，可以为全加拿大土地资源和土地适应能力作出快速的清查和综合分析。

60年代中后期，许多有关地理信息系统的组织和机构纷纷建立，地理信息系统也迅速发展起来。它们在自然资源清查，资源与环境的监测、评价，灾害预报，工程建设、经济规划、地球科学研究等方面得以广泛应用，并取得明显的经济效益。

地理信息系统的发展并不是偶然的。它是科学与社会发展的必然结果。一方面是随着各应用领域的发展，对信息的应用要求也日益提高。表现在从传统的定性分析发展为定性、定量和定位分析；从单一要素分析过渡到多要素、多变量综合分析；从静态分析发展到动态研究。所要求的参数和条件不仅是多变的，而且是大量的。如进行环境质量评价，包括水、土、植被、气候、污染类别、污染程度等大量变化着的参数；进行大面积作物估产，需用作物类别、布局、面积、长势、土壤湿度、肥力、农业小气候、水文资料等35种以上的参数。另外，它还要求对大量数据进行及时处理、分析，以便对问题作出实时决策。特别是如黄河、洞庭湖的洪水险情预报，美国三里岛核扩散事故中，扩散范围与损失的估算等类的问题更需要进行快速研究、迅速反应和决策。显然，用人工方法远不能满足上述要求。此外，遥感应用环境背景分析积累了大量的数据，遥感技术的发展所能提供的信息也愈来愈多。信息频于"爆炸"。这样大量的信息均需要科学管理，才能发挥其作用。同时，采集的数据形式多种多样，有机载多波段扫描仪用磁带记录的模拟信号，有卫星采集的用磁带记录的数字信号，有摄影象片，表格形式的地面观测数据，野外传感器测得的纸带数据，以及多种数据源所得的其它数据（气象数据等）。为了便于数据的处理和综合分析，需要对这些数据进行整理、合并，使之成为具有内在联系的数据组（对数据进行预处理），或用数据库形式将它们按目录进行分类，或采用标准、严格的文件化形式等。这种种客观需求对地理信息系统的产生和发展是一种刺激与动力，促进了它的迅猛发展。另一方面，自动制图系统、计算机硬软件及辅助设备齐全、数据库技术，改善了数据输入、存储、检索、运算方式；遥感、图象处理系统，改善了信息获取、更新手段；地学数量化分析的广泛应用，数学地质，建立地学过程的数学模型、应用分析模型，提供了地理信息系统应用和分析的可能。它们构成了地理信息系统发展的必要技术条件。地理信息系统便是在上述背景下，迅速发展起来的。

地理信息系统的基本特点是：信息共享、区域综合分析、及时反应、辅助决策、动态预测。但地理信息系统在开始建立时，需要一定的设备和解决大量的技术问题，因而费用较大。当然，从长远看，它是经济的，将带来很大的利益。

地理信息系统按研究规模主要分为全国性和区域性，目前已向全球性发展；按内容可分为综合性与专题性。

国际上，地理信息系统的发展特点不一。美国、瑞典等是一种类型，发展较早较

快，已建立了许多专题性和区域性的地理信息系统，并普遍应用于科学管理、决策分析和社会生活。仅美国地质调查局（USGS）就有50多个地理信息系统，在地质、地理、水资源等领域发挥着作用。但这类专题性、区域性地理信息系统，缺乏全国性的统一规范和标准，因此给信息共享和互换带来很大困难。日本、法国、加拿大等是另一种类型。它们注意到通盘考虑建立全国性统一规格和全国性统一的地理信息系统，如日本的国土信息系统、加拿大的全国地理信息系统等。在此基础上，发展专题和区域性地理信息系统，使系统间的互换容易实现。目前，国际上的地理信息系统，已从具备储存、分析评价、查询检索、自动制图等一般功能，向信息采样自动化、多功能的综合分析评价模型、智能化的专家系统、充分与遥感遥测技术直接连接进行信息更新，以及规范化、标准化和信息充分共享等方面发展。

我国地理信息系统的发展较晚，于80年代初提出，并开展了工作。1980年开始研究各国建立地理信息系统的经验和教训，1983年初步形成适用于我国地理信息系统的设想，并提出了关于资源与环境信息系统国家规范的研究报告，其中着重解决多层次结构、统一地理坐标与编码、数据标准化、数据共享等原则与政策问题、从而避免了一些盲目分散或过度集中的通病。与此同时，区域性的地理信息系统相继进行试验。四川渡口地区环境信息系统(1981)，在渡口市及郊区航空遥感土地利用/土地覆盖详查的基础上，在数字地形模型(DTM)和人口普查数据的支持下，建立了125米×125米和250米×250米格网的数据库，为城市规划和二滩电站水库淹没损失的估算提供信息服务。天津城市环境信息系统（1985）以十年来环境污染监测和多时相航空遥感监测为基础，建立了500米×500米格网的数据模型，设计了机助制图软件和环境质量评价模式。此外，分别建立了全国县界数据库、国土资源信息系统、全国人口系统、旅游系统等，虽然它们的分析功能不够，但也是个很大的进步。目前正进行着京津唐地区生态环境信息系统、三北防护林区生态效益动态监测系统、江河洪水预警系统、黄土高原信息系统、中国自然环境信息系统等项目的研究。总之，地理信息系统的工作虽然在我国开始不久，但发展很快。目前不仅致力于数据库的建立、多功能系统的建立，而且着重于数学模拟、系统分析、探索建立专家系统的可行性。同时始终抓住它的实际应用和经济效益。为了便于推广应用，还注意发展一些微型计算机系统。

（三）地理信息系统的基本组成

地理信息系统包括从数据源开始，经过空间数据管理系统，到系统用户这一完整的信息处理系统（图2-28）。其中空间数据管理系统由数据处理与数据分析两个子系统组成。它是地理信息系统的核心。数据源主要为专题地图、遥感图象数据、统计数据等。这里，遥感图象数据是指经过专题特征提取的数据。专题地图等经过数字化处理成为计算机可处理的形式，在空间数据库管理系统支持下，进行数据编辑、操作、查询、分析，并以显示绘图的方式提供用户。

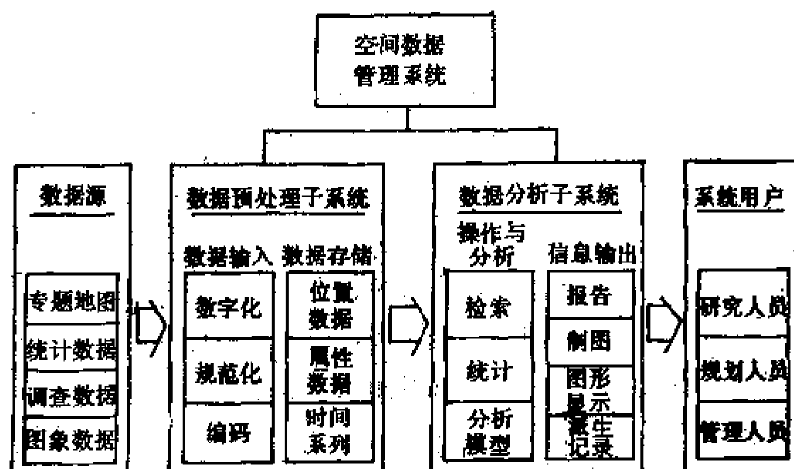


图 2-28 地理信息系统的组成

（四）地理信息系统与遥感

地理信息系统已被证明是一种管理与分析空间数据的有效工具。遥感也已被证明是一种对空间数据采集和分类的有效工具。因此可以说，它们的工作对象都是空间实体，它们之间有着十分密切的关系。可以从以下两个方面来认识地理信息系统与遥感的关系：

1．遥感是地理信息系统的一个重要数据源和强有力的更新手段

遥感使地理信息系统的活力和应用大大加强。它可以作为地理信息系统的数据采集子系统，为地理信息系统提供及时、准确、综合和大范围的各种资源与环境数据。同时，对地理信息系统数据库的更新来说，遥感数据由于具有动态、多时相的特点而显得尤其重要。

以目前现有的地理信息系统来看，数据输入的主要来源仍是地图数字化。即航空遥感影象经目视判读和其它地学辅助资料，编制出各种专题图（包括地形图），再经过数字化进入地理信息系统。这一直是目前遥感与地理信息系统两者结合的主要形式。遥感数据尚未成为地理信息系统的主要数据输入源。也就是说，对于地理信息系统而言，遥感作为信息源的潜在能力尚未得以充分发挥。主要原因有两方面，一方面是因为大多数地理信息系统是由计算机制图系统发展而来。因而它保留了直接以地图作为初始空间数据源。另一方面是因为遥感信息的精度尚不能满足地理信息系统的需要。地理信息系统侧重于对数据的管理和应用。它要求所有的数据必须按一定的格式（数据结构）、一定的单元（地理单元）、统一的坐标，能够相互配准，要求数据具有及时性、灵活性、兼容性、可靠性等特点。因而，地理信息系统强调精度和数字化，而遥感侧重于对数据的处理和分类，以供遥感应用人员判读分析和编制专题地图。在这里目视的方法起了重要的作用。遥感格网结构的象元数据以及按象元的分类，其数据的定位精度和分类精度，在一些情况下尚不能适应地理信息系统在制图、管理、决策规划等方面的实用需求。

由于上述原因，目前遥感和地理信息系统两者结合得还不够。两者的接口应该主要包

括数据格式变换和空间配准两个方面。配准是一种特殊的变换，目的在于使图象处理和图形识别中的数据重叠。根据按象元分类的遥感图象预处理后的数据，直接转换成为协调一致的地理信息系统数据，这种形式的实例是有的，但不普遍。随着 TM、SPOT 等几何精度的改善、分类精度的提高以及新的分类算法的产生，为航天遥感直接作为数据源，为地理信息系统提供可靠数据打下了基础。同时，利用遥感数据周期短的特点，来更新地理信息系统也将是一个必然趋势。

2. 地理信息系统作为一种空间数据管理、分析的有效技术，可为遥感提供各种有用的辅助信息和分析手段

地理信息系统有助于提高遥感数据自动分类的精度，为遥感应用分析提供一个良好环境，大大提高了遥感信息识别的精度和效率。它不仅是图象处理系统的合理"延长"，而且使遥感应用的深度和广度达到一个新的水平。例如，Stralner (1978) 用地形信息参与陆地卫星的森林分类，提高了精度；Liken和Maw (1981) 用地理信息系统辅助数据提高了土地利用分类精度。实际上，现在的问题往往是遥感图象处理系统难以容纳地理信息系统的数据量。目前，地理信息系统的一个重要发展趋势是加强空间信息管理系统与遥感图象处理系统间的联系，通过这二者的结合来提高资源与环境信息系统在动态分析、监测与预报方面的能力，以及改善遥感分析精度。

二、空间数据结构

在数据库中，数据组织的方式称为数据结构。它应有效地表达各数据项之间的关系。数据结构在任何地理信息系统的设计和建立中起着十分关键的作用。它决定了数据采集（数字化）、存储、查询、检索和应用分析中数据操作处理的基本方式。

（一）空间数据的基本特征

1. 空间分布

地理信息系统的数据内容涉及到分布于地球表面的自然现象，如有关土地资源的土地类型、土壤类型、土地利用条件（坡度、高度、土壤侵蚀程度等），有关矿产资源的矿产分布、地质条件等，有关水资源的流域范围、水系分布等，也涉及社会、人文经济现象的空间分布特征，如行政范围、土地利用现状、道路分布、人口分布、城镇结构、工业布局、规划等等。可以看出，这些事物与现象都跟空间位置有关。因此称之为空间实体。

空间实体不仅有它一定的空间位置，而且有一定的几何形态，如点状、面状、线状。在地理信息系统中，空间实体的这种空间分布特征均可由空间图形表达，即由 x、y 坐标值表示和确定。

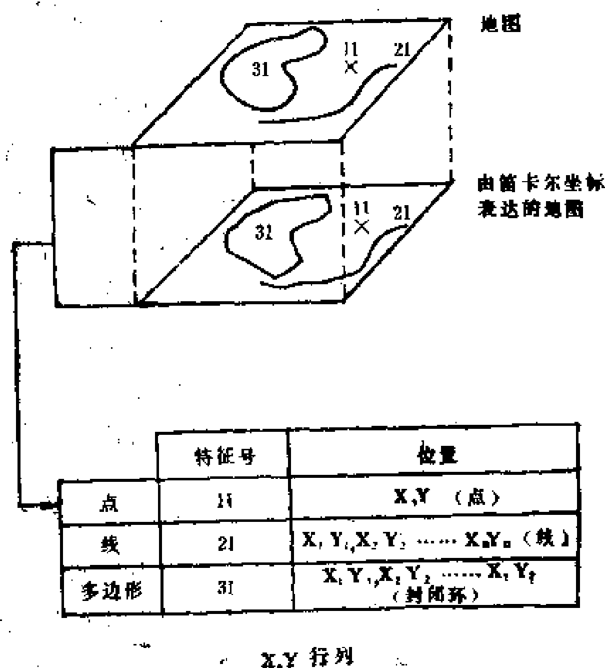
2. 概念属性

由于空间实体存在着内在本质差异，因而具有不同的属性，从而被划分为不同的专题类型。确定和认识一种事物或现象，则需要依据它与其它事物或现象的本质差异，寻找代表它的一组属性，也就是建立起识别它的一组标志。例如进行某一区域内的土地适用

性分析，可能需要考虑土壤层厚度、有机质含量等一些土壤性质属性，以及地形高度、地形坡度等地形条件属性。当然，这些分析属性组合的确定应当经过筛选，选择在分类中作用最大的属性，剔除作用小的或不起作用的属性，尽量减少或避免存储数据的冗余。在地理信息系统中，空间实体的这种属性特征，一般是通过属性码来表示的。

3.时间

位于地球表面的空间实体都处于发展着的时间序列中。人们所收集存储的有关它们的某一记录都只是某一瞬时或时间范围内的特征。不同时间的记录可以反映出它们的动态变化。在地理信息系统中，空间实体的这种时间特征是作为一种属性码来表示的。



	特征号	位置
点	11	X,Y （点）
线	21	X_1Y_1,X_2Y_2 ……X_nY_n（线）
多边形	31	X_1Y_1,X_2Y_2 ……X_1Y_1（封闭环）

图 2-29 空间实体的向量结构表示

（二）空间数据结构与编码

不同数据源的数据，有不同的数据结构。

1. 向量结构（又称多边形结构）

主要用于表示由线划地图中，地图元素数字化的数据。基本的数据元素分为：点、结点、向量、线段和多边形（图 2-29）。

点（Point）：为最基本的地图数据元素。由一对x、y坐标表示。

结点（Node）：为特殊的点。①特征点，如城市中点、矿点等；②线段特征的两个端点。

向量（Vector）：由联结两点而构成，从起点到终点构成一定的方向性。

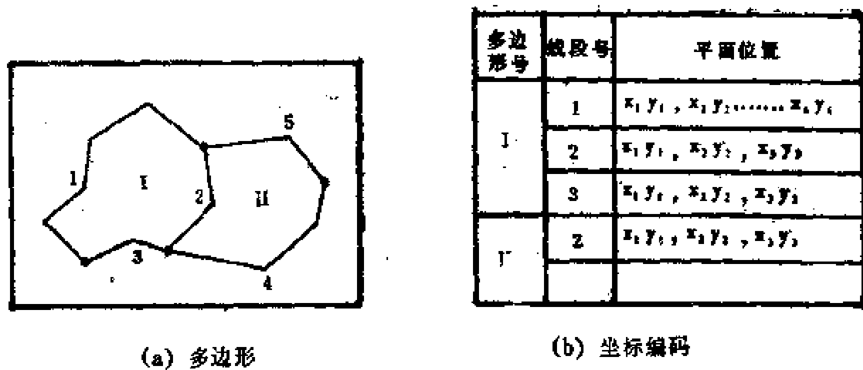
线段（Line）：由两结点及两结点间的一组序点组成。它包含一个或若干连接的向量。

多边形（Polygon）：表示面状空间实体的平面分布，由一个或若干线段组成的闭合范围。

数据编码（以多边形为例）

(1) 坐标编码。由一组有序点的（x、y）坐标对确定线段的平面位置，再由构成多边形的一个或若干线段确定整个多边形的边界位置（图 2-30）。线段数字化的次序和方向是任意的(但确定后，在编码中反映出来)，公共点和公共线均具有相同坐标编码。

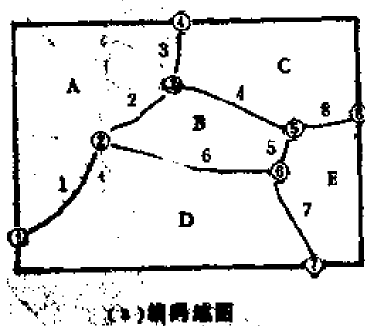
(2) 拓扑编码（Topological encoding）。不考虑距离，只考虑结点、线段、多边形之间空间上的相互关系和属性上的联系，从而将有关线段的记录恢复多边形（图 2-31）。



多边形号	线段号	平面位置
Ⅰ	1	$x_1y_1, x_2y_2, \ldots\ldots x_6y_6$
	2	x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3
	3	x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3
Ⅱ	2	x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3

(a) 多边形　　(b) 坐标编码

图 2-30 图形元素的坐标编码



(a) 编码略图

线段号	左边多边形属性码 code1	右边多边形属性码 code2	起始结点 node1	终止结点 node2	邻接线段相应于 code1	邻接线段相应于 code2
1	A	D	1	2	2	7
2	A	B	2	3	3	6
3	A	C	3	4	1	4
4	C	B	3	5	8	2
5	E	B	5	6	7	4
6	D	B	6	2	7	2
7	E	D	6	7	5	1
8	C	E	5	8	3	5

(b) 线段拓扑编码记录

图 2-31 图形元素的拓扑编码

坐标编码只能表示空间数据的具体位置，不能反映位置间的关系以及属性。拓扑编码主要反映点、线、面在空间上的相互关系和属性上的联系。所以拓扑编码是对坐标编码的补充，从而可以完整的描述存储在数据库中的空间实体。为了在处理、查询中重新表

现这个空间实体，必须同时具备这两种编码。

2．格网结构（又称栅格结构）

由对工作区域均匀地划分为格网矩阵而构成格网结构。格网的形式可以不同，如三角形、六边形、正方形、矩形等，但通常人们采用正方形格网。也可由遥感图象的象元直接构成格网结构。每个格网单元是最基本的信息存储单元和处理单元。它的大小可以根据不同要求而确定。格网的行、列号隐含了空间实体的空间分布位置。通过它们的分布位置也比较容易求出实体间的空间关系。对每个格网单元记录相应空间实体的属性值（图 3-32）。

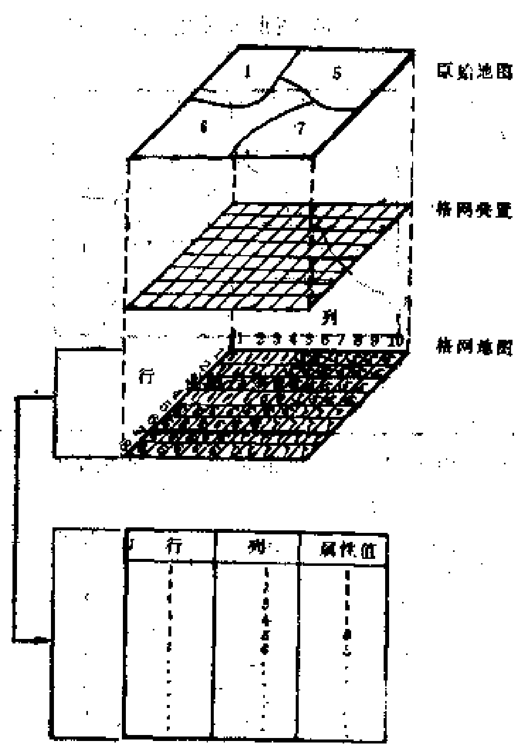


图 2-32 空间实体的格网结构表示

表 2-6 向量结构与格网结构的对比

数据结构 / 对比项目	向量结构	格网结构
几何精度	高，几何形态模拟好	低，与格网单元大小有关
占存储空间	少	多
数据处理	算法较复杂，尤其是多边形叠置	较容易，便于多要素综合分析处理

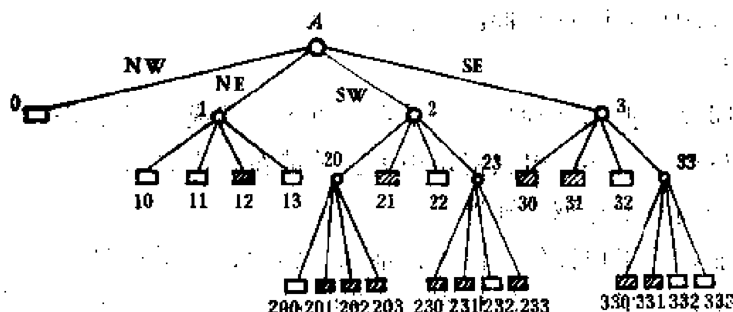
3. 层次结构 (Hierarchical Structure)

为了有效地压缩格网结构数据，并提高数据存取的效率，而出现的一种新的数据结构。它建立在逐级划分一确定的图象平面空间的基础上。每次把图象划分为 4 个子块，故又称四分树结构（图 2-33）。

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0

(a)二元图象

(b)图象分块与编码



(c)四分树表示

图 2-33 层次结构

4. 向量结构与格网结构的变换

空间数据管理系统数据结构的确定应当根据主要数据来源的特征。如果主要数据源为遥感图象、DTM 或图形的扫描数字化结果，那么可以选择格网结构为地理信息系统的基本数据结构。如果数据主要由地图手扶跟踪数字化过程而来，那么应以向量结构作为地理信息系统的基础数据结构。但一个较完美的地理信息系统应具备这两种数据结构之间的转换功能。这种转换可以通过程序来完成，也可以通过扫描数字化来实现。

三、地理信息系统的应用

（一）地理信息系统的基本功能

1. 数据输入、存储、编辑

对多种形式（影象、图形和数字）、多种来源的信息，可以实现多种方式（自动、

半自动、人工）的数据输入（即数字化），建立空间数据库。

数据输入，即在数据处理系统中，将系统外部的原始数据（多种来源、多种形式的信息）传输给系统内部，并将这些数据从外部格式转换为系统便于处理的内部格式的过程。它包括数字化、规范化和数据编码三方面的内容。

所谓数字化，包括不同信息经过扫描数字化或跟踪数字化器，进行模数变换、坐标变换等，形成各种数据文件，存入数据库内。

所谓规范化，即对不同比例尺、不同投影坐标系统、不同精度的外来数据，必须统一坐标、统一记录格式，以便在同一基础上进一步工作。其中有些工作，如投影坐标变换可以在数字化过程中进行。

所谓数据编码，就是根据一定的数据结构和目标属性特征，将数据转换为便于计算机识别和管理的代码或编码字符（由系统内部的软件来完成）。

数据输入方式与使用的设备密切相关，常有三种形式：一是手扶跟踪数字化器的矢量跟踪数字化。这个仪器是最常用的图形数据采集装置，人工选点或跟踪线段数字化。它主要输入有关图形点、线、面的位置坐标；二是扫描数字化器的光栅扫描数字化，主要输入有关图象或图形的网格数据；三是键盘输入，主要输入有关图象、图形的属性数据（即代码，符号）。

数据存储，即将数据以某种格式记录在计算机内部或外部存储介质（磁盘、磁带）上。其存储方式与数据文件的组织密切相关。关键在于建立记录的逻辑顺序，即确定存储的地址，以便提高数据存取的速度。

数据编辑功能，给用户提供了修改、增加、删除、更新数据的可能。

目前发展了无须数字化的缩微摄影、检索技术。它的价格约为数字化形式的二千分之一。日本国土院用此模拟形式存储了78万张黑白、彩色航空象片和7000桶航摄底片。英国军事测量局把全英1:2500和1:1250两种比例尺地图、历代全英航空象片均缩微存储建库。

2. 操作运算

为了满足各种可能的查询条件而进行的系统内部数据处理。如：数据格式变换、多边形叠合、拼接、剪辑等操作以及按一定模式关系进行各种数据运算，如算术运算、关系运算、逻辑运算、函数运算等。

3. 数据查询、检索

从数据文件、数据库或存储装置中，查找和选取所需数据。

查询——根据用户提出的问题，来确定查找方向和步骤。

检索——从数据文件中，提取所需要的数据。

4. 应用分析

地理信息系统应用分析一定区域内的各种现象和过程。根据确定的应用分析模式，提高分析评价、管理与决策的能力。这一分析功能可在系统操作运算功能的支持下或建立专门的分析软件来实现。包括空间信息量测与分析、统计分析、多要素综合分析等。

地理信息系统本身是否具有建立各种应用模型的功能，是判别一个系统好坏的重要

标志之一。因为这种功能在很大程度上决定了该系统在实际应用中的灵活性和经济效益。当然一般说来，各种地理信息系统都有它专门的应用目的，而不是包罗万象的。

5．数据显示、结果输出

数据显示为中间处理过程和最终结果的屏幕显示。包括图形数据的数字化与编辑以及操作分析过程的显示。通常以人机对话方式来选择显示的对象与形式。如数据显示、统计图形显示、空间数据的图形图象显示等。

结果输出有专题地图、图表、数据、表格、报告等多种类型。屏幕显示也算结果输出的一个方面。输出设备有高分辨率彩色显示器、单色显示器、彩色绘图机、打印机等。

6．数据更新

数据更新即以新的数据项或记录来替换数据文件或数据库中相对应的数据项或记录。它是通过删除、修改、再插入等一系列软件来实现的。数据库应具有更新能力。数据更新是地理信息系统建立地理数据的时间序列，满足动态分析的前提。数据更新分全面更新和局部更新两种。数据更新的关键在于建立遥感与地理信息系统的接口，提高不同数据结构数据转换的精度和效率，以及提高遥感的几何精度和分类精度。

（二）地理信息系统实例

1　ELAS信息系统*

美国NASA国家空间实验室（JPL）的ELAS信息系统（1979），为一个以遥感影象为基础的地理信息系统。它兼有遥感影象处理及地理信息系统两方功能，使用方便、灵活、易于扩充，便于推广。它在美国运用广泛，不同部门，不同计算机均可使用（图2-34）。

（1）结构

ELAS系统可以接受不同形式的数据。包括

①陆地卫星MSS数据（纠正或未纠正）。

②数字化的专题图数据，如政区界线、流域、道路、土壤、人口密度等。

③普通地图数据，国家地图信息中心（NCIC）由1:25万地图（USGS）获得的地形数据，以及由此而得到的数字地形数据、高程、坡度、坡向、坡度百分比等.

④其它卫星数据。TM模拟数据、热红外扫描数据、海洋卫星合成孔径雷达数据等。

⑤可能增加的数据。包括地球物理参数等现在和将来可能增加的数据。

以上多种信息源均经过归一化处理、几何纠正、格式变换（原网格形式和多边形数据统一变换为UTM投影的地理格网上，精度优于一个象元），各自形成数据文件，存入数据库内。

（2）处理、运算功能

①数据检索。

* 资源与环境信息系统国家规范研究报告，1984年，

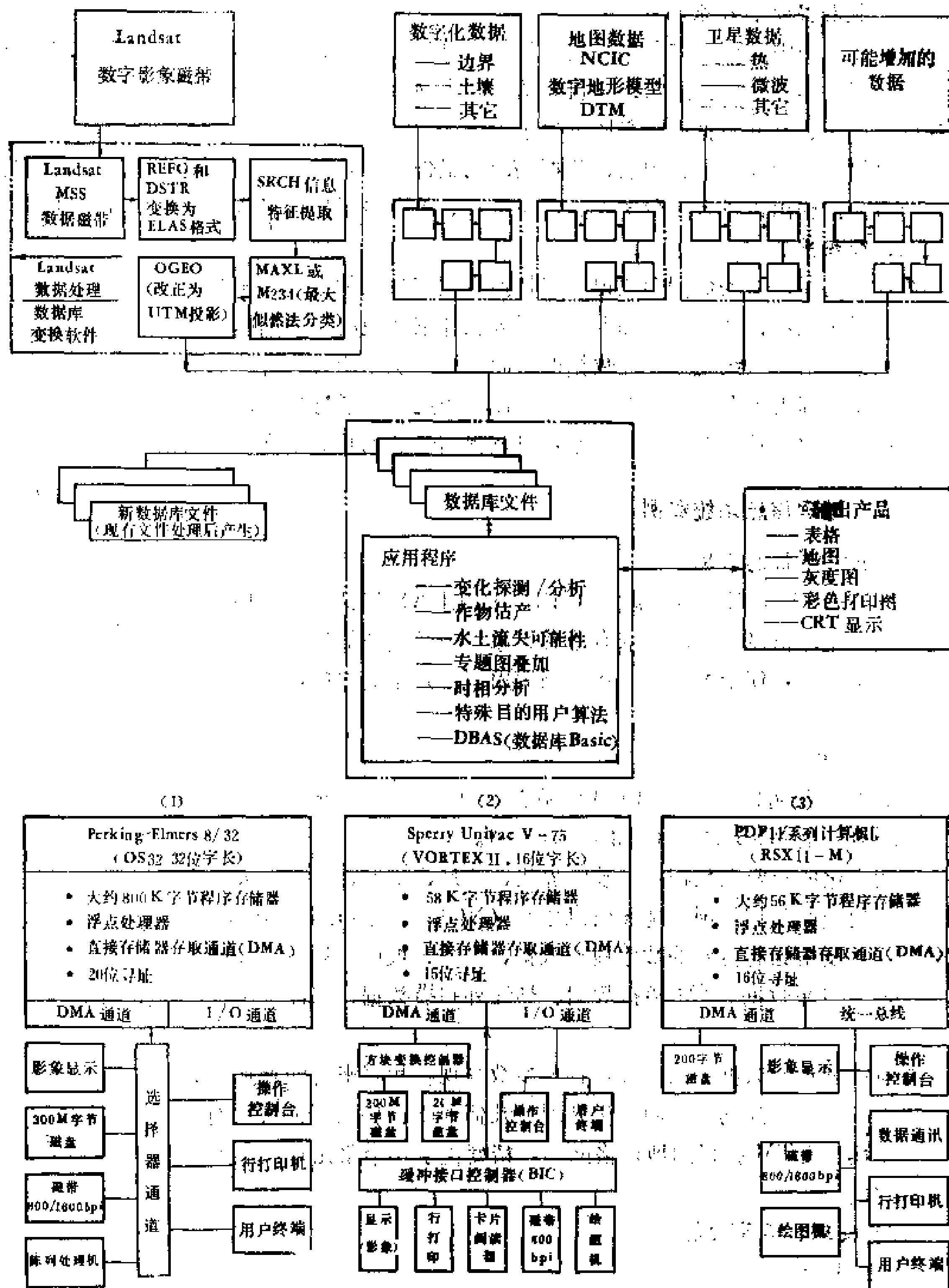


图 2-34 ELAS信息系统

②分类。该系统采用最大似然比分类法处理各种类型的输入数据。在分类过程中，把其它类型的各种数据与陆地卫星数据综合在一起。如高程、坡度、降雨等与影象数据结合。也就是其它数据参与遥感数据的分类。

③统计分析、包括主成分分析、回归分析、相关分析等。

④数字地形处理。由 DTM 派生出数字地形数据（高程、坡度、坡向、坡长、坡度百分比等）产生三维图象。

(3) 作用

ELAS 系统，设有一些应用程序，可进行以下的工作。

①变化探测/分析。

②野生动物评价。

③作物估产。

④水土流失分析。

⑤专题图叠加。

⑥多时相分析。

⑦特殊目的用户算法。

⑧DBAS（数据库 BASIC）。

最后输出产品为表格、地图、影象灰度图（若与 DTM 配合，可画立体图）、彩色打印图、终端 CRT 显示。

此外，系统可将现有文件处理后，产生新的数据文件，更新数据库。

ELAS 系统是一个地学信息系统，可得出资源管理或社会经济的信息。它功能较全，是对地学分析较实用的系统。该系统是在 Perking-Elmer8/32 计算机上研制的已成功地移植到其它计算机系统上。

2. IBIS 系统

美国喷气推动实验室（JPL）的 VICAR/IBIS 遥感影象处理系统[1]。它兼有遥感影象和地理信息系统两重功能。IBIS 作为 VICAR 的一个分系统以影象为基础，注意到遥感与非遥感数据的匹配。它最初是为了编制土地利用专题图，把陆地卫星遥感图象的处理与人口统计区多边形文件匹配，以取得人均耕地等数据、表格而建立起来的。

(1) 数据预处理

IBIS系统的数据处理过程如图 2-35 所示。

数据源包括：

①陆地卫星影象系统（经几何纠正）。

②统计地图变成的数据（作为地理参考系统，如人口等）。

③土地覆盖数据。

④其它图象数据（航空象片等）。

这些数据可归入三种数据类型，表格数据（table），矢量数据（vector），图象数据（image）。

数据配准：以影象作为基础，把各种图形数字化、网格化，按它们的行号、列号进

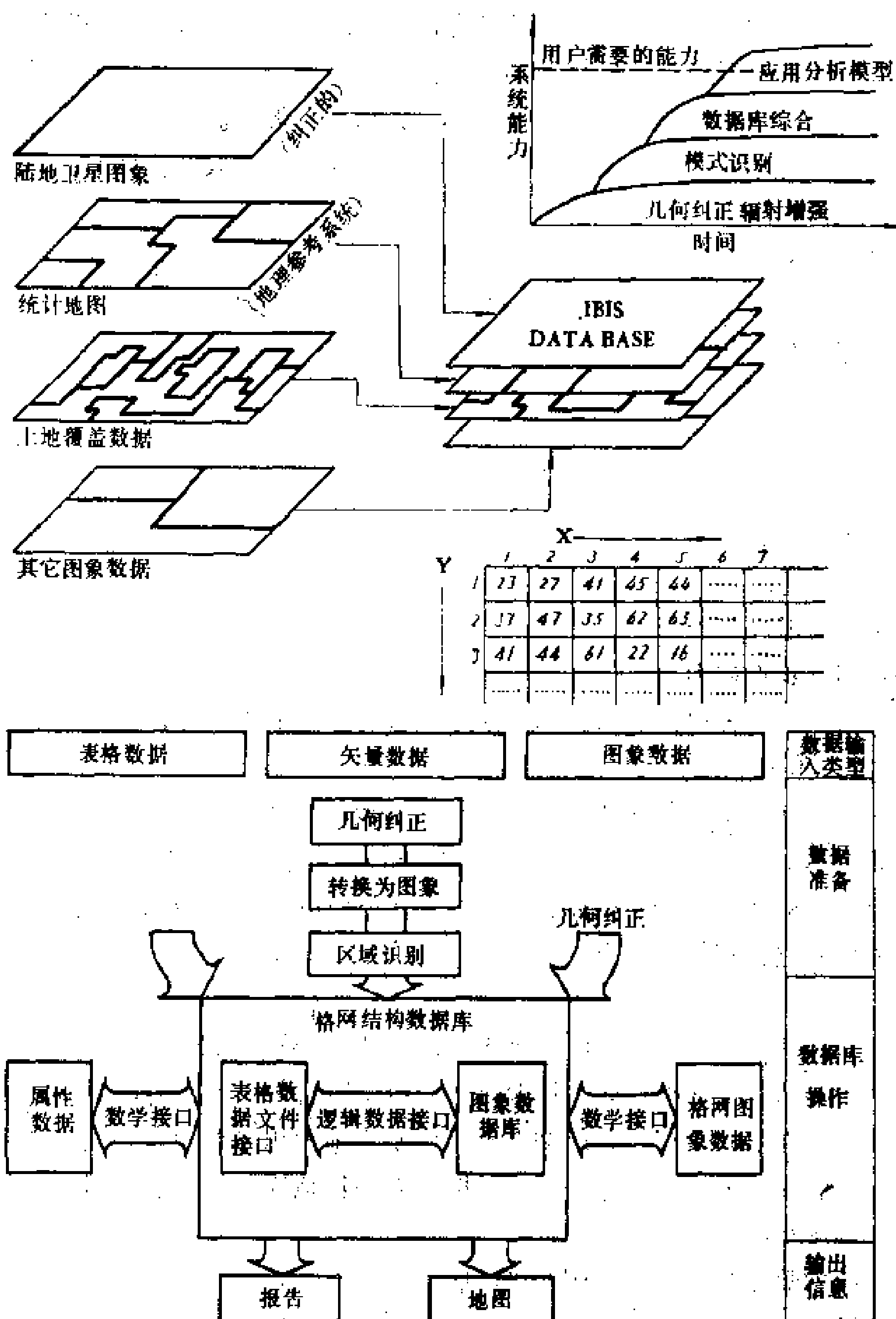


图 2-35 IBIS 信息系统

行编码，从而所有数据叠加在一起，归入统一的坐标，建立起格网结构数据库。

(2) 数据库管理

格网数据库内，不同层次的专题数据可在数据库管理系统支持下进行数据操作，如叠合处理或专题选取等。表格数据为属性数据，它与格网图象数据之间建立有接口，使其空间图形连接起来，赋以空间图形单元以更丰富的属性内容。

(3) 数据输出

输出不同形式的产品，包括生成文字报告、表格、影象以及根据用户的查询要求形成新的地图。

(4) 系统的应用

系统把遥感分类进行专题制图与多信息综合分析结合起来。

①自然模拟 (physical Analog)。按象元亮度值来表示高程、湿度、空气污染浓度等自然的变化，进行自然模拟。

②确定政区界线，以表示象元的归属。即影象上每个象元分类、统计等均按行政区划进行。

③确定点、线间的最小距离。

④进行分类。确定象元值的分类，如土地利用、土地覆盖以及其它区域分类。

⑤制表。象元按表格形式记录在一定地理区域内。象元分类后，根据象元的归属关系，统计、制表，可以搞出各种按格网，按行政区划或按流域的统计表。

这些应用需要，确定了地理信息系统包含不同的数据类型以及较大的数据量。如反映洛杉矶地区高程，需要15000个不同的象元值，每个象元有256个灰价，要处理的数据量太大。经过遥感数据的网格化，以格网单位代替了象元，这使数据量大大减少，利于遥感与地理信息系统的结合，并能满足遥感分类进行专题制图以及多信息综合分析的需要。

如，农场主需要在一个山区选择农场，要求一定的自然条件、交通条件、土地条件等。用IBIS系统分析土壤类型，按对小麦的适应情况分为三级……，最后得出一幅图。它详细地说明了哪几个地区适合用户所要求的农场条件。再如，用户买房，要求一定的地价、坡度、阳光以及距海远近等一系列条件，系统可以分析出哪几个地方可以符合要求，请你挑选。因此，可以说该系统延伸了遥感图象处理的功能。

IBIS系统对于充分利用卫星遥感图象数据以及分析区域内土地生产力发展趋势是重要的。由于数据需求及用户的变化，对系统的要求也有所提高。随着信息系统的不断发展，系统能力的标准从卫星图象的几何纠正、辐射增强及模式识别等图象处理方法，进一步提高到数据的综合能力以及建立有效的应用分析模式。图2-35右上角的坐标图，便反映了这一过程。

3. 加拿大地理信息系统 (CGIS)

CGIS 是最早研制 (1963—1971)，也是现有最大和技术上较完善的土地数据处理系统之一*。它主要为处理加拿大全国土地清查任务获得大量数据而建立起来的，但也可以处理其它来源的数据。

它的主要信息来源于加拿大土地清查 (CLI) 1:5万、1:25万图件以及统计资料。按多边形结构存储不同的土地利用类型和相关要素，包括土地用于农业、林业、渔业、

* W.A. Switzer，加拿大地理信息系统。

文娱、人口、行政边界、流域、海岸线等11大类。

系统以经纬度为参考坐标系统。有一个灵活原点，从原点开始包括128°的范围(即西经145°、北纬40°，西经180°、北纬0°)。采用横轴麦卡托（UTM）投影。使用滚筒

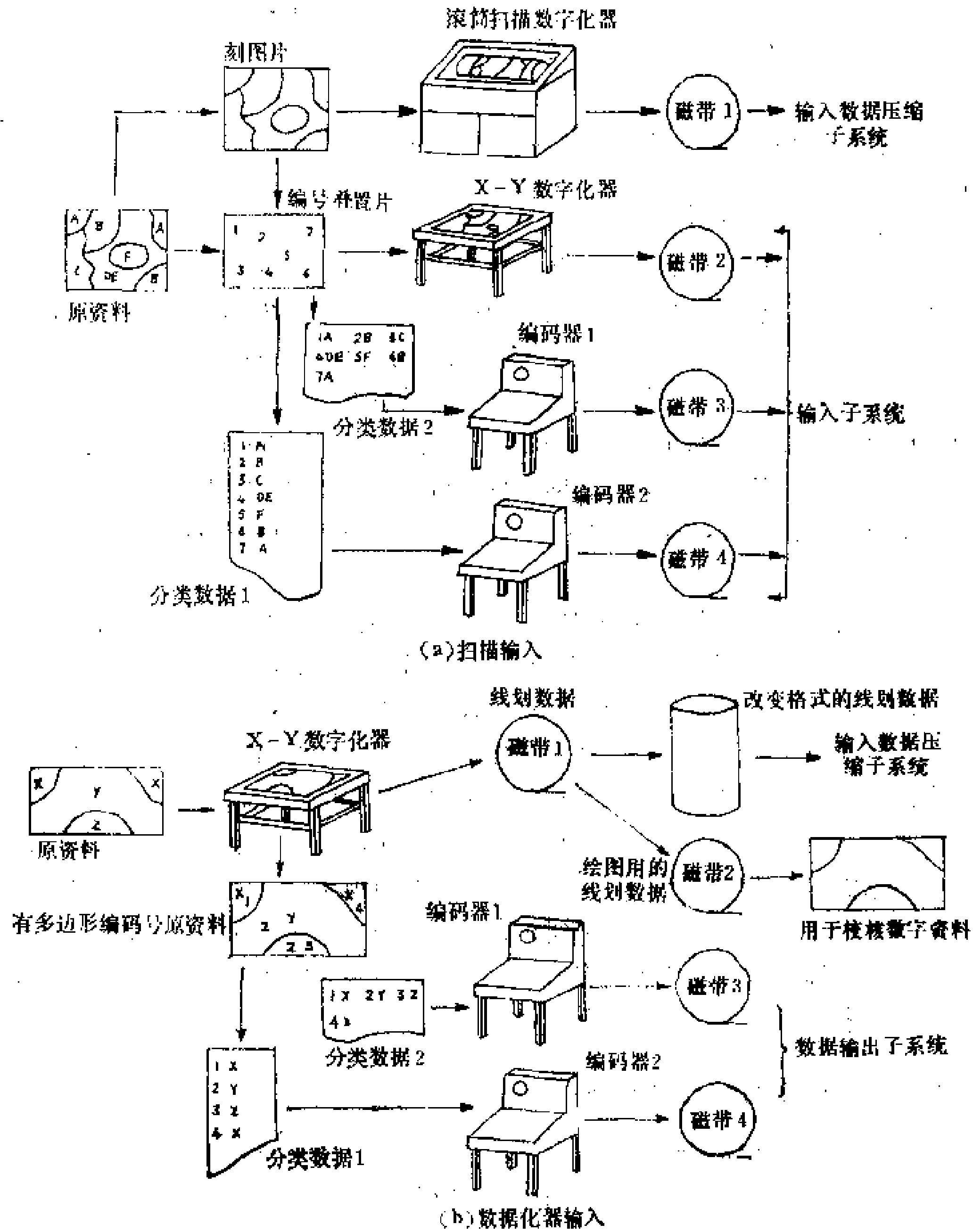


图 2-36　CGIS 的数字化输入

式扫描数字化器和x—y数字化器输入数据，并配有人机对话制图装置（图2-36）。

系统的功能，一方面不仅可区分每一块土地目前利用的类型，还能分析它的土地潜力（即土地生产力），一般分为7类，每类再细分下去。因此，对全国土地的现状、它的合理性、适宜发展的方向以及再布局的选择等分析都可从系统中获取。另一方面具有“覆盖”功能，它的检索子系统采用指令语言和汇编语言，能把一种图与另一种图叠置起来，产生新的组合图，一次处理可最多使8种图叠置。此外，还具有计算面积、排列数据、建立数据库等功能。

它已广泛用于加拿大的有关部门，具体应用于：自动输出各种单要素图、综合图，清查土地面积，土地合理利用分析，土地利用前景预测，监督评价，土地能力和社会需求的平衡分析等各个方面（彩页7(6)）。

4．日本国土信息系统

日本国土信息系统由日本国土地理院1974年开始研究，1980年建成。它包括数字国土信息系统和模拟信息的缩微存储检索两部分。它的数据主要来源于测量成果，各种地图和航空象片等。系统具有三级格网结构，对于每个等级相应的格网中存储不同类型的数据。它把全国按经度为1°，纬度为40′划分，建立一级格网；将一级格网上细分为8×8等分建立二级格网；再细分为10×10等分组成三级格网。这时，每格相当于实地1平方公里，称为公里格网或基本格网。三个级别格网之间互换、运算都很容易。根据发展程度和应用目的，在不同地区按不同级别的格网，分别在每个格上存储了该格的下列要素：地形（包括海拔高度、平均高程、最大高程、最低高程、高差、地表坡度等），行政区划、特定地区、土地利用、海岸线、湖泊、流域、道路网、地价等项内容。逐步增加、定期更新、不断扩大。

目前，此系统已被日本50个部门应用于日本的土地利用规划、道路规划、水资源规划、长期住房用地供求估算、垃圾处理、环境评价、烟雾扩散模拟、水污染预报、交通噪音对策、重力地形改正、地震灾害救援规划、气象分析、选址分析等各个方面。

系统的利用方式主要为查询检索和综合分析两类，包括机助输出各种分析和综合结果的地图和统计图表，估算某个地区符合某种条件的地物数量和统计数值，查找符合指定条件的地区，将多种信息综合起来评价某一地区等。

5．瑞典的土地管理系统和道路数据库

(1) 瑞典的土地管理系统（SLDBS）——the Swedish Land Data Bank System

主要设计用于房地产、土地管理的全国性系统。由政府部门、房地产中央管理局于1969年设计，1978年建成，逐步完成全国范围的土地管理。

信息的主要来源是专题图及调查统计数据信息内容包括位置（行政所属、地址、地图上的位置、中心坐标、建筑物坐标等）、面积、价值（税收值）、所有人、建筑计划和规定、债权（抵押契据、通行权）、权利、测量（文件标识号及其它档案文件）、备

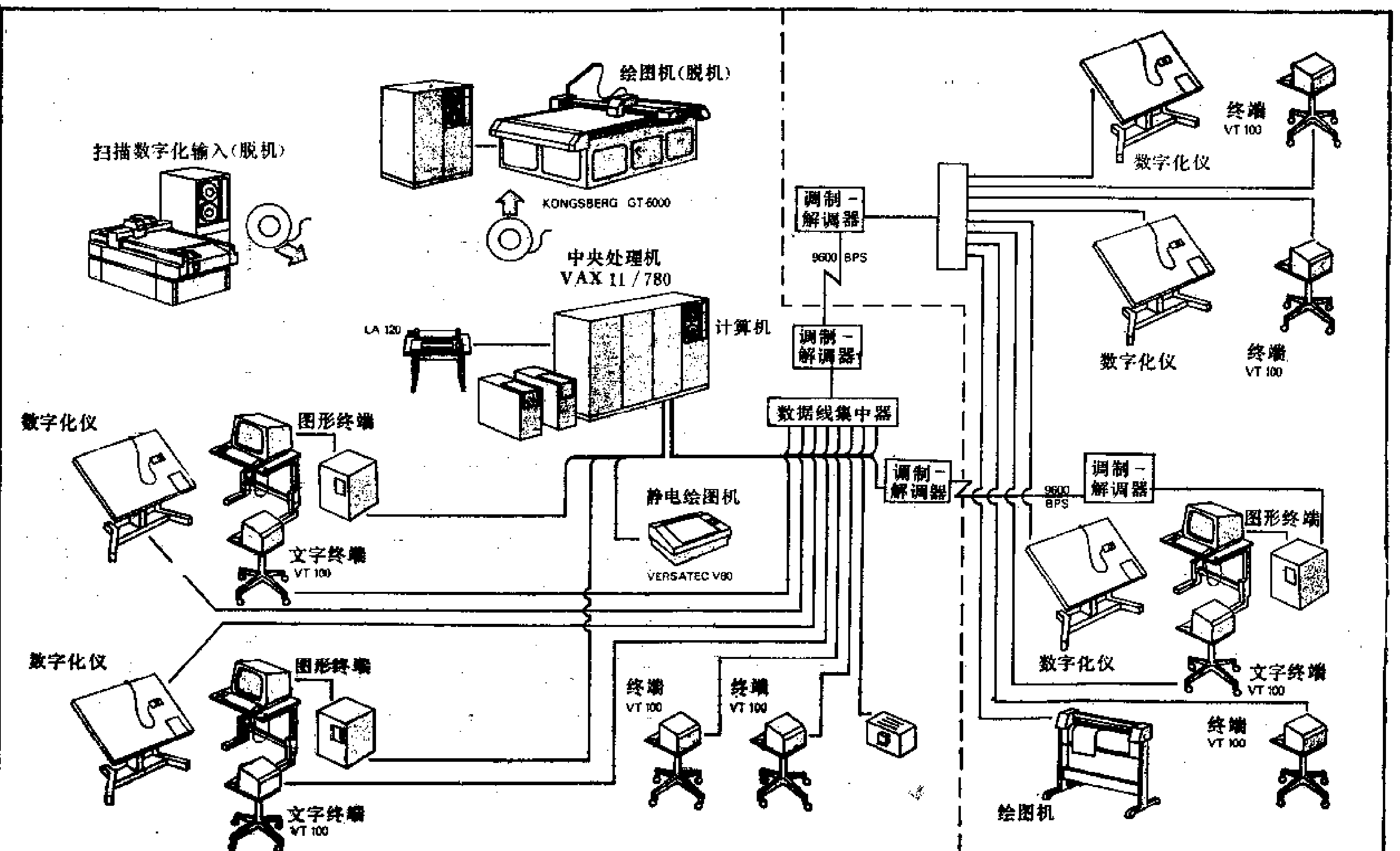


图 2—37 SLDBS系统

注等等。

系统有5个数字化仪、2个绘图仪（脱机存入磁盘），经中央处理机（Vax 11/780计算机）运算、处理后，通过打印机（图表、数字）、静电绘图仪（地图）、终端显示，输出结果（图2-37）。输出的内容包括各种专题图如大比例尺的城市图、人口分布图、建筑物分布图（不同质量等级）、人口与住房分布图，以及各种表格、数据、房地产名、地址、登记号码、主人名等。

该系统不仅对全国房地产进行管理，而且在城市和区域规划中，发挥着重大作用。

（2）瑞典道路数据库（RDB）

此系统专为道路管理设计的，因而存储的信息有道路分布（长度、宽度、密度等）、坐标数据、运载能力、道路类型和结构、途径居民点、交通状况（车流量、车速限制）、交通事故信息（事故发生时间、地点、严重性等）。它包括了全国10万公里公共道路，3000个居民点和25000多个道路交叉点，可以随时掌握道路现状进行道路管理、设计、维护、规划以及用于社会生活中。如很容易取得两城市间究竟有多少条通道，它们的长短和质量，经过什么桥梁，它的负载限制，以及一系列沿途有关的信息。这对道路的选择、设计和人们的旅游都是十分有利的。

7．三北防护林地区资源与环境信息系统

此系统由中国科学院地理所资源与环境信息系统实验室（LREIS）、北京大学计算机系、中国林业科学研究院资源信息研究所、中国科技大学无线电系共同研究完成（1988）。它为三北防护林遥感调查数据和区域有关社会、自然数据的科学管理提供了有效的工具。

（1）数据源

①地图信息。包括在遥感调查中经图象解译、处理和综合分析而得来的专题图，如森林分布图、土地利用图、土壤图等，以及地形图。地图信息经空间图形实体的数字化进入计算机系统进行存储、处理。

②统计数据。包括森林资源调查统计数据、社会经济统计数据等。

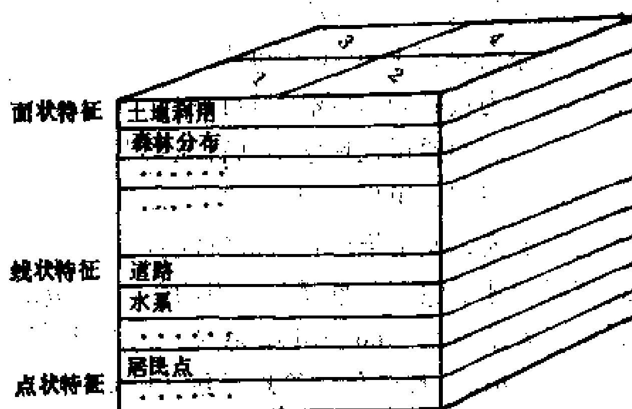


图2-38　数据库组织的多图幅多层次模式

③遥感图象数据。主要指经处理分类后所提取的专题信息。它是系统进行动态监测及数据库更新的基础。

④高程数据。利用彩色红外航空象片在数字测图仪（C 120）上直接量测获得，即从数字地形模型进行提取而得。当然，通过地形图数字化也可获得。

（2）数据库设计及数据结构

数据库的组织采用多图幅多层次的立体模式（图 2-38）。

其关系为：每一图幅内包含相同层次的数据组成一个数据库，相邻图幅的数据可以互相构成一个总的数据库系统。同一层次具有相同的空间实体的形式，而没有不同的空间实体类型间的重叠。也就是每幅图采用分层次用多个文件记录空间实体的拓扑信息和几何位置信息的方法。而空间实体的属性信息（数字信息）与以上空间信息相关，是在空间信息生成后以交互方式从键盘输入，从而建立起关系数据库文件。

系统所涉及到的空间数据，主要采用向量结构与格网结构两种形式，并建立两者之间互相转换的接口，有利于发挥两种数据结构各自的优点，提高系统应用操作的灵活性。

（3）系统硬件构成

系统是建立在IBM PC/AT（或XT）及其兼容机上，并配置有小型数字化仪（TG 8024）、高分辨率彩色显示器（NEC 1024×768）、图形控制卡（GCB IV）图象控制卡（FGB）、小型绘图仪、点阵式打印机等必要的外部设备，同时还配有硬汉卡，以适应汉字用户界面的要求。

整个系统的硬件配置比较经济合理，可充分满足系统运行的要求。它体现了小型灵活的特点，符合国情，便于在地区、县级推广应用。

（4）系统结构

三北防护林地区资源与环境信息系统由三个主要子系统组成。它们是 Geo-union 地学信息管理系统、图象处理系统、森林资源（统计与分析系统）预测及档案管理系统。它们既相互独立，又相互连接(图 2-39)。

整个系统是以 Geo-union 地学信息管理系统为核心。它是我国自行设计、独立开发的新的通用性地学信息管理系统。它功能齐全、操作灵活、使用方便、易于扩充、便于推广，是对资源与环境管理和地学综合分析较实用的系统，以下着重介绍 Geo-union 系统。

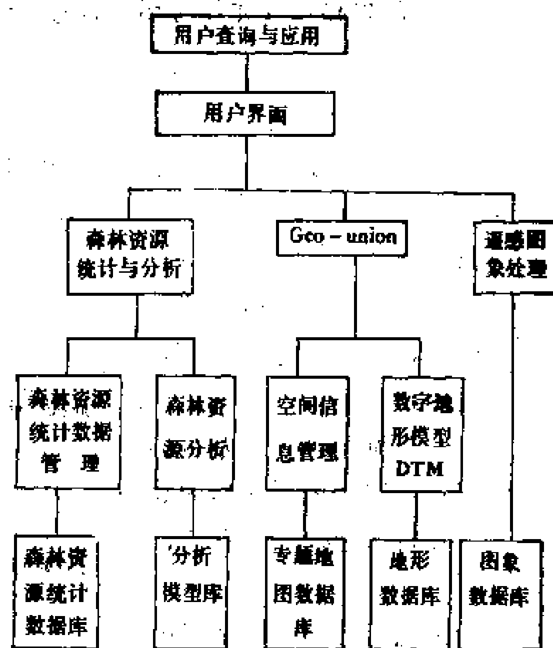


图 2-39　系统结构

Geo-union 地学信息管理系统由空间信息管理（SIS）与数字地形模型（DTM）两个子系统组成。SIS 采用向量结构进行空间数据管理，DTM 采用格网结构进行地形及其它专题数据管理。两者之间建立接口可进行数据转换。

在空间信息管理子系统（SIS）中，反映资源与环境特征的空间实体被描述为多边形、线、点等图形元素。通过对专题地图的图形数字化操作，系统建立并存储关于这些图形元素的拓扑信息、位置信息和属性信息。根据对图形实体空间关系的描述与数据操作的

要求，建立了各相应的文件，如地图目录文件、多边形文件、多边形线段文件、线性特征线段文件、结点文件、特征点文件及相应的坐标文件。在各文件之间通过数据项发生联系，形成多层次文件结构。为了加强空间信息与属性信息的联系，扩大查询功能，本子系统已实现了与Oracle关系数据库管理系统的连接（图2-40)。

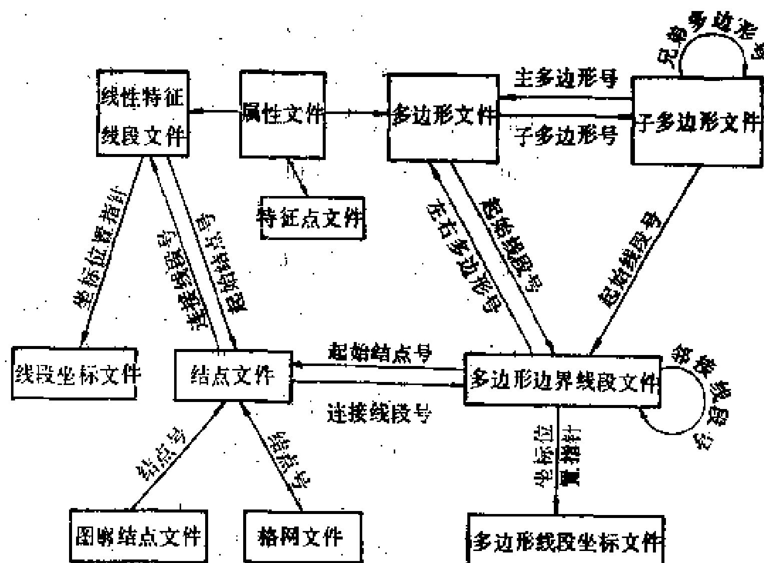


图 2-40 文件间的联系

在数字地形模型子系统（DTM）中，数据分为两类。一为地形数据，包括基础地形数据，如绝对高程以及由它派生的相对高程、坡度、坡向、单元高差、表面面积等数据，以及分级分类数据，即由上述基础数据经分级而来或由SIS向量结构数据格网化转换而来。二为专题数据，由向量结构专题地图信息格网化转换而来。从数据所在地理范围和专题属性这两个方面考虑数据的组织。每一种专题类型数据均构成一个层次。不同层次之间由对应的地理范围(行、列号)相关联。全部数据采用文件系统方式，分两级管理。第一级为地图索引文件，第二级为地图数据文件。系统在进行数据处理前，首先通过地图索引文件，可根据图名、或专题类型名和工作区空间范围确定所要的数据文件。DTM子系统同时也是Geo-Union与遥感图象处理两个子系统进行数据交换的中间环节。

(5) 系统功能

系统功能包括数字化输入、图形编辑、操作、查询、绘图、专题属性定义、DTM等功能模块。在每一模块中又分别包含若干功能。

①输入模块。主要进行专题地图的数字化。输入以结点和线段为基础。面状图形可视为由若干线段围成的多边形。这一功能模块的重要特点是，它对输入线段的次序及方向不作任何限制，系统利用有效的算法将这些表面上显得杂乱的多边形线段重新生成多边形。这样，用户使用很方便、灵活，并大大提高了输入速度。在本模块中，还提供了部分编辑功能以便在输入过程中进行必要的信息修改。

②编辑模块。提供输入结束后进一步更新修改信息的机会，以保证输入数据的可

靠性。它包括更新地图名、图形编辑（采用屏幕编辑与地图编辑两种方式）、属性编码（采用批方式或选择方式两种)。同时，为了方便用户，又建立了许多有用的子功能，如设置窗口、放大、缩小、设置背景地图、置参考区，线段、点的增删，线段的分割，合并、移动，多边形生成等。

③ 操作模块。提供不同图幅、不同地图剪辑，以及地图复制、删除、加载、拼接、合并、多边形叠合、信息选取、向量-格网数据的转换等操作功能。相邻地图拼接功能可以在多幅地图存储的基础上进行相邻区域空间信息的相关，保证了系统工作范围的可扩充性。不同专题类型多边形叠合是向量结构上实现地学综合分析的主要模式。它和信息选取功能一起是本系统查询功能实现的基础。

④查询模块。查询界面为交互式菜单方式，由菜单提示输入查询条件。查询条件，一为空间范围，可以是给定待查地区的地理范围（地理坐标）或行政范围(县、乡名等)，也可以是某个特征点为中心指定半径的周围区域；二为专题属性类型，分单一查询和综合查询（可提出10种专题要求以内的各种属性类型）两种。查询结果可构成一幅新图存入信息库或直接输出，包括图形显示和统计结果等。

⑤绘图模块。除了根据用户指定的地图名在高分辨率彩色显示器或绘图仪上输出地图外，还可以根据需要在显示屏上交互式地设计地图图面配置，如图名、图例、文字注记等，并可指定表示地图上各种空间实体的颜色和线型、线距、线角度，并设计了多种组合模式，足以满足用户各种不同的绘图需要。本模块还提供定义图例、中西文地图标注（大小不同规格）等功能。

⑥应用分析模块。包括两部分，一为通用分析程序，如趋势面分析、统计分析、多要素叠合分析等；二为专用分析程序，如森林动态分析、土地适宜性评价、地形剖面分析、积温计算、土地质量评价、生态效益分析、区位开发条件分析等功能。另外，用户可以根据各自的应用需求，建立应用分析模型，在本系统上述功能的基础上进行系统开发，实现应用分析或建立定向的资源与环境分析评价系统。

这一功能模块正在进一步开发中，将研究建立更多的分析模型，并引进人工智能方法。

(6) 输出

最后输出图、表、数据等。可在高分辨率彩色显示器上显示，可经绘图仪绘制，也可通过打印机输出。

参考文献

〔1〕R.N. Colwell et al., Manual of Remote Sensing, American Society of Photogrammetry, 1983

〔2〕P.A. Burrough, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Clarendon Press.Oxford, 1986

〔3〕陈述彭：地理信息系统的探索与试验，《地理科学》第2卷，第4期，1983年

〔4〕资源遥感的方法与实践，科学出版社，1990年待出

〔5〕T. K.Peucker et al.,Cartographic Data Structure, American Cartographer, Vol.(2, 1), 1975
〔6〕K.E.Brassel, A Topological Data Structure for Multi—Element Map Processing, *First International Advanced Stvdy Symposium on Topological Data Structure for Geographic Information System*, Vol. 4, 1978
〔7〕周心铁等：三北防护林平泉实验区资源与环境信息系统，再生资源遥感研究，科学出版社，1988年
〔8〕周心铁等：三北防护林平泉实验区空间数据管理系统，（同上）

第八节 区域区划方法

一、基本概念

（一）区划

区划是按人们对自然环境或社会经济环境的认识，并根据特定目的来提取空间信息的一种方法。或者说，区划是按一定的分类系统，把区域逐级划分直至最小景观单元或制图单元。

区划是地理学常用的一种手段。它并不是区域规划，而是一种基础性工作，是一种对自然景观的表达形式。

区划的划分依据在于地域间存在分异，且差异之间存在可对比性。这种地域差异不是杂乱无章，也不是偶然的，而是较稳定的和有规律的。也就是说，一定现象在同一地域内部表现为相对一致性，在一地域与另一地域之间有明显的差异性。从这个意义上讲，区划方法，则是把区域内部的一致性、区域之间的差异性加以系统揭示和归纳的方法。

区划的基本特征：

（1）地域性。尽管地域内的自然组合多种多样，但同一区域内，自然组合是相互联系的构成一个有机的整体。由于它们处在特定的三维空间位置和时间演进中，又受地带性与非地带性因素相互制约，因而在不同的地区形成不同的自然综合体组合，即自然组合具有区域性。对于某一区域，既有其固有的规律，又有其特殊的性质，即具有共性与个性。因此，区划工作必须始终贯穿着因地制宜的原则，具有明显的地域性。区划方法就是全面查清地域差异的表现，深入分析地域差异的原因，研究针对这种地域差异的措施，揭示地域差异的规律。

（2）综合性。区划的综合性表现在全面地分析所有自然因素和社会因素（包括各种自然条件、自然资源、经济基础等），系统地考虑和研究地理环境各要素之间的相互联系和相互制约关系。任何区划都必须进行多因子的综合分析。

（3）宏观性。区划是对较大范围的宏观研究，而不是侧重于它的细节，所以它有较大的概括性。它仅反映地域的全貌和主流，只需按景观单元来划分。所谓景观，苏联

地理学家C.B.卡列斯尼克给了个较完整的定义："地理景观是地表的一个地段，它在性质上不同于其它地段，它为天然的界线围绕起来，而且是一个完整的（内部统一的）、相互制约的、有规律的各种物体和现象的组合，这种组合典型地表现在巨大的空间上，而且在各方面都与景观外壳有着不可分割的联系"。

（4）层次概念（等级概念）。区域的划分是按照一定的等级进行的。等级不同，其内部的相似性程度不同。等级愈低，其内部的相似性愈大。

根据不同目的，可以进行不同内容的区划。区划的类型多种多样，主要有综合自然区划、综合经济区划、部门区划等。

（1）综合自然区划。它是以特定地区的自然地理综合体为研究对象，主要研究区域自然综合体的结构及其发生、发展演变过程以及地域分异规律。它通过对区域自然地理综合体的研究，对区域自然条件和自然资源的生产潜力进行数量和质量的评价、揭示自然规律，提出合理利用自然资源的方向和途径、自然保护与环境保护的措施，为战略决策服务。

（2）综合经济区划。它的研究对象是生产地理分工的地域单元。它反映全部经济活动（工业、农业、交通运输等）的地域差异和地域联系。

（3）部门区划。是根据某一专题类型对区域进行划分。如农业区划、地貌区划、工程区划等。

尽管区域区划是根据一定的目的进行的，是人为的，但一个成功的区划应该是客观地反映了地域的分异规律。研究愈深入、愈充分，科学性愈强，就愈能经得起实践的考验，实用价值也就愈大。

（二）遥感与区划

传统的区划方法采用从下向上的工作过程。也就是说，从大比例尺资料逐级缩编为小比例尺的资料，从而建立一个综合的概念。

50年代初，在我国进行的区划工作中，遇到的问题是资料来源不一致，如社会经济统计数据差异太大，地图比例尺数据的类型各异，给综合带来了很大的困难。例如过去搞自然区划，是根据气象台站资料，通过计算积温、干燥度等来划分干湿、温度带，然而积温线的摆动幅度很大。美国曾把50年来的0°等温线排列在地图上，几乎覆盖半个美国。可见，用积温线进行自然区划有一定的局限性。

遥感图象信息在区划中的应用，则是按区域差异来提取所需的空间信息。遥感，特别是卫星遥感，所获得的信息具有综合性、同源性、宏观性以及动态的特点，为区划提供了丰富而有效的信息，使区划工作从传统的地学方法中解放出来，有可能采用从上而下的工作方法来进行区划，从而大大提高区划的效率和精度。现在可以根据动态遥感图象上的综合信息——植物绿波线（植物叶子发绿的界线）来反映自然区划特征。此外，复种指数界线、水稻分布界线、春小麦分布界线等，均可从遥感图象中直接判读。这对自然区划提供了很大的方便。

遥感区划的基本过程如下：

（1）用遥感资料进行判读解译，编制所需的各种要素的“现状分布图”。

（2）对现有的图件进行分析，特别是动态变化分析、趋势预测。

（3）进行归纳，寻找其内在成因联系，给予评价。编制“综合评价图”。

（4）进行区划，编制“区划图”。

（5）在区划图的基础上，进一步规划，编制“规划图”。

分布—综合分析—综合评价—区划—规划，这个过程体现了对地域或自然（社会）环境的认识不断深化的过程。

二、遥感区划方法

遥感区划方法，实际上包含两方面的内容，一是信息分解，二是信息综合。在信息分解与综合的过程中，要保证各要素间成为有机联系、相互补充的一个整体，能够反映地理环境的本来面貌。这里主要的问题是分类系统的建立以及分类方法的有效性。

（一）分类系统与分类等级的确定

分类系统：分类系统可以紧凑而简明地表达地图内容，具有很强的科学性与系统性。分类系统的建立应当和国家统一的分类系统相协调。

分类等级：分类等级首先要反映本区的分类在全国乃至全球分类系统中的相对地位（等级）；其次要反映划分的详细程度。可以根据目的要求以及比例尺的许可来决定简化和详细程度。

图例系统：图例是分类系统在图上的直观而形象的体现。根据分类系统和分类等级，来确定图例系统。

制图单元：在分类分级系统与图例系统之间还考虑一个问题——制图单元。由于区域的差异性，有的分类等级在一区域可以表示，在另一区域则图斑过小而表示不出来，需要根据制图比例尺对制图单元进行适当选择，对分类等级进行适当调整或合并。也就是分类系统与制图单元并非完全一致，其中还有个与比例尺相适应的问题。不同比例尺的专题地图所能表现的最小制图单元的大小是不同的。因此在区划过程中，应当根据制图比例尺，对制图单元进行适当的选择。

遥感区划方法主要有两个特点：一是从上而下的层次分解，二是多要素的综合区划。下面就这两种方法分别加以说明。

（二）从上而下的层次分解

过去区划从下而上综合，现在遥感提供了综合、宏观信息，便可能根据分类系统的层次结构，从高级向低级逐级进行区域划分。首先，建立第一级区划类型界线的各种解译标志，把区划划分为第一级若干子区。然后，根据子区内的分异特征在遥感图象上建立次一级解译标志，进一步划分。这样逐级进行，直至最低分类单元，完成全区单一类型或综合类型的区划。当然，在分析的过程中，必须根据不同的区划目的和要求，在不

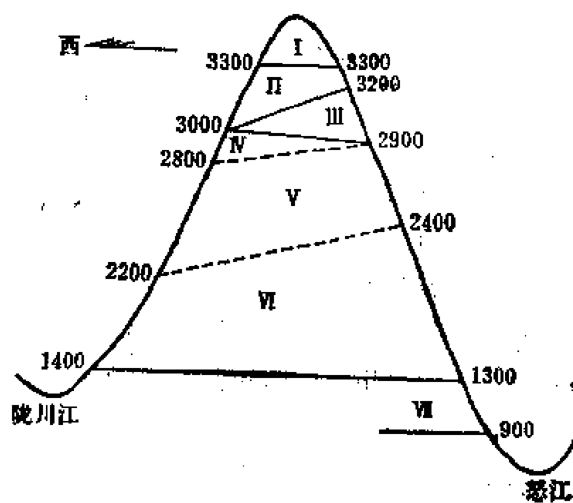
同等级的区划中，选择具有一定空间分辨率的遥感信息，确定相应的分类标志。另外，还需要加入其它有关的辅助信息。这里就不再详细介绍，可以参考前述的其它章节。下面举两个具体例子。

1．腾冲景观分析

这里以腾冲景观分析为例[3]来说明这一方法的应用。

云南腾冲位于亚热带山区，景观类型十分丰富。它的最大特点是三维景观结构。即纬度地带性、季风作用与海拔高度的影响非常紧密地交织在一起。海拔高度高以及相对地势差异大，使渐变的纬度自然地带转化为多层的垂直自然地带。再加上山脉对季风的气候屏壁作用，使垂直地带差异格外加强和剧化，往往出现从亚热带到温带到寒温带甚至终年积雪的景观。图 2-41 以南北纵列的高黎贡山为例。由于西南季风被山脉所阻，焚风逆温现象明显，使山脉的东、西两坡自然植被的垂直地带谱差异很大。它的东侧为怒江低谷——干热；西侧为梁河低谷——湿热。从山谷往上不仅植被垂直分带明显，而且东西坡植被带的变化及各植被带的下限变化均很大。对于这样一个地区，如何进行区域划分呢？首先，应从自然景观入手，认识景观的结构，也就是揭示出不同空间范围内景观的主要特征。其次，要分析这些景观分异的主要表现形式，也就是寻划各分异的共同点和差异性，从而解决这些分异依据什么标志来鉴别。

腾冲景观是受所处的地理位置、地质、地貌、水热和人为等多种因素作用和经历长



Ⅰ．稀疏石生植物
Ⅱ．亚高山杜鹃，箭竹灌丛草甸带
Ⅲ．铁杉林、针阔混交林带
Ⅳ．苔藓矮林
Ⅴ．以石栎为主的常绿阔叶林亚带
Ⅵ．以石栎、栲为主的常绿阔叶林亚带
Ⅶ．干热河谷灌丛草地

图 2-41 高黎贡山植被垂直带图

期演变的结果。这些因素是相互制约的。如地貌条件与地质构造和岩石性质相关；而土壤植被又直接反映出不同地貌部位对水热的影响。地理环境中各种因素综合地发生作用，但彼此在实际影响的强度和时空关系上又有不同。景观的分异，则从它的结构变化反映出来。在景观划分中，把影响景观的主导因素分为四级，作为划分标志的依据，即大地构造、地貌、水热条件、生态系统单元。每一级中，又根据这些景观分异的主要表现形式划分出几个识别标志（表2-7）[2]。

表 2-7 腾冲区景观分类的信息树

<table>
<tr><td colspan="2">级 别</td><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td colspan="2">IV</td></tr>
<tr><td colspan="2">主导因素</td><td>土地构造</td><td>地貌发育</td><td>水热条件</td><td colspan="2">生态环境</td></tr>
<tr><td colspan="2">识别标志</td><td>1. 断块升降
2. 海拔高度
3. 相对高度</td><td>4. 岩性差异
5. 侵蚀、堆积
6. 水网密度</td><td>7. 坡度、坡向
8. 日照
9. 土壤温度、湿度</td><td colspan="2">10. 自然植被
11. 土地利用
12. 开发程度</td></tr>
<tr><td rowspan="14">断块运动</td><td rowspan="9">显著</td><td rowspan="5">断块高山（升）</td><td rowspan="4">高山（变质岩）</td><td rowspan="2">东陡坡（背风）</td><td colspan="2">适阴植被</td></tr>
<tr><td colspan="2">喜阳植被</td></tr>
<tr><td rowspan="2">西缓坡（向风）</td><td colspan="2">适阴植被</td></tr>
<tr><td colspan="2">喜阳植被</td></tr>
<tr><td>山麓丘陵（洪、冲积扇）</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">断块盆地（降）</td><td rowspan="2">湖积盆地（堆积）</td><td>台地</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>平原</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">冲积谷地（侵蚀）</td><td>阶地</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>川地</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">不显著</td><td rowspan="5">山原</td><td rowspan="2">花岗岩高原（侵蚀，剥蚀）</td><td>东陡坡（背风）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>西缓坡（向风）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">玄武岩火山（玄武岩、熔岩流）</td><td>低缓坡</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">高陡坡</td><td colspan="2">适阴植被</td></tr>
<tr><td colspan="2">向阳植被</td></tr>
</table>

第一级以大地构造（造山）作用为主导因素，以海拔高度、相对地势、断块升降为标志，划分为3个大区（断块高山、断陷盆地、山原）；第二级以地貌发育为主导因素，以岩性差异、水系密度、剥蚀侵蚀或堆积状态为标志，划分为6个二级区（高山、残丘、湖积盆地、冲积谷地、花岗岩高原、玄武岩火山）；第三级主要依据水分热量条件的差异，以日照、坡度、坡向、土壤温度与湿度为标志，进一步划分为陡坡、缓坡、

台地、平原、阶地、川地等；第四级主要考虑生态环境，用自然植被、土地覆盖情况等为标志，进一步详细划分。最后建立了四级树状景观分异生态系统和它们的空间模型。

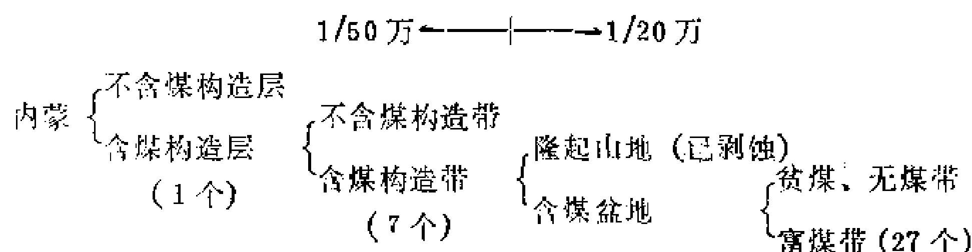
按这样的地理景观单元划分，遵循了地学规律，层次清楚，使各种界线分类不至于混乱，从而成为腾冲系列制图的基础。

又如，腾冲地区的打莺山火山，海拔高度为2700米。根据高程和水热条件，可将火山锥划分为4个象限、8大块。每块的阴、阳、干、湿组合不同，便出现生态组合上的明显差异，对应着各自特有的植物群落。如在喜湿耐阴的区域里，生长着茂盛的矮壮的高山杜鹃；在喜阴向阳面的不同高程条件下，生长着香果树和桤木树；在较干的向阳面，盛开着山茶花……。这样，火山锥的植物生态组合特征便清楚明了。

2. 内蒙找煤

煤炭部在内蒙锡林格勒盟东部，晚燕山期全褐煤带断陷盆地遥感找煤*，也是利用多层次区划方法，一步步缩小找矿范围。

（1）综合分析——由大到小、一分为二，突出重点



最后，找到27个煤矿区。

（2）地貌—构造（隐伏）—成煤

这里的控煤构造大多为隐伏构造，其上覆盖有不太厚的新生界地层。根据地貌与基底断块有关，基底断块又与断裂相伴生的关系，通过线形影象分析和地貌形态分析以及计算机增强处理，找出控煤构造的位置、走向和规模，从而运用遥感方法寻找构造层、含煤构造带、地形上有利保存煤的地带等。同时，也利用非遥感方法，以了解成煤条件、含煤地层以及煤质情况。两种方法相结合，从大的区域区划入手，逐步缩小找矿包围圈以找到具体成煤条件（包括地貌、构造、地层等）的成矿区。

从上而下的层次分解，抓住分异规律，一旦分类系统建立，便不难进行层次分解。

（三）多要素综合区划

区划中，往往需要考虑多种要素指标，因此各种要素的综合分析常是区划一项基本的工作方法。对于每一地域类型，各种自然环境要素有规律地组合在一起，它们相互影响、制约和相互依存。但在不同的区域，其组合规律不同。因此，在区域划分中，研究并掌握区域特点及区域内各基本要素的组合形式，是首要的事情。在这个基础上，我们才有可能建立正确的判读标志。在某些情况下，地理环境各要素之间的有规律组合，往

* 吉林煤田地质研究所遥感站，大兴安岭西坡中段地区遥感技术在煤田地质中应用研究，1983年。

往是通过遥感图象上色调、图形的一定结构形式，即纹理结构表现出来的。这是提取某些专题信息的十分重要标志。

进行遥感区域综合分析，必须在遥感专题信息提取中，考虑到多因素的概念，进行多种要素和组合指标的复合。这种合成的方式有：

1．各专题信息的叠合

这里需要对各不同要素单元间主要轮廓界线进行统一协调处理，来确定综合单元的界线*。

界线的统一协调原则是：

①要正确反映各要素和现象轮廓界线的共同天然图形。

②正确反映轮廓界线的过渡特征。

③正确反映轮廓界线的交接关系。

④正确反映轮廓界线之间的重合关系。

总的原则是要正确反映出自然界中各要素和现象轮廓界线的天然协调性(图2-42)。

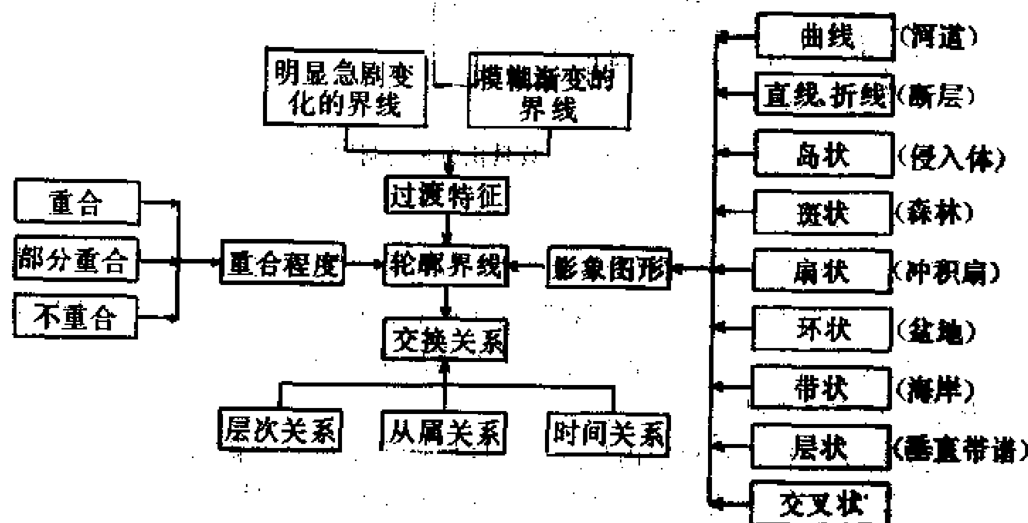


图 2-42 自然要素轮廓界线框图

遥感手段通过影象色调、形态、大小，结构等，能直观地反映区域的特征，但用以区分界线则难度增加。这是因为：

①界线本身有明显与不明显之分。对于不明显的界线，如渐变过渡型界线或古河道、古海岸线等痕迹界线，遥感图象的目视判读或光学、计算机图象处理，往往也不容易识别出来。

②界线在动态变化中是有位移的。

③界线之间存在着复杂的交接关系。它反映了事物发生、发展的时间先后关系。

④遥感对影象的纹理分析还比较幼稚。

* 廖克，地理环境综合制图理论与方法探讨，1981年。

2．数字分析方法

根据确定的数量指标和属性特征，利用某种数学模型，对不同要素进行多因子综合分析和评价，把区域按一定的分类系统划分为若干综合单元，它们相互之间自然属性不同，而在内部又相对地一致。常用的分析数学模型为多变量分析，如判别分析、聚类分析、趋势面分析、因子分析等，已在数量地理学和数学地质等方面得到了广泛的应用。

腾冲地区景观单元数量化分析试验，就是一个典型的例子[5]。它通过对腾冲景观类型分析的数学模型、数据来源和格式变换特点的分析，可以将整个区划过程描述如下（图2-43）。

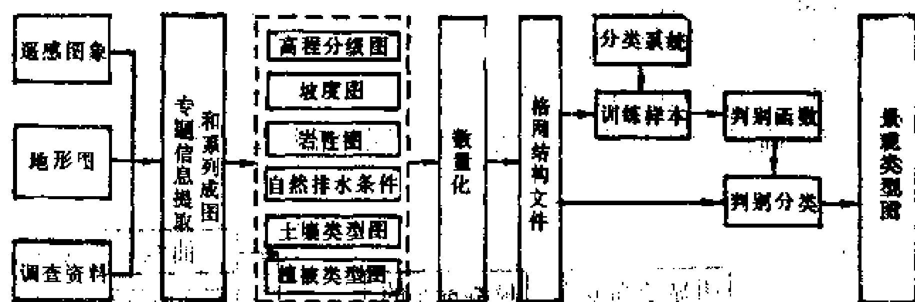


图 2-43　景观类型数量化分析与制图过程

（1）数据准备

目前，从遥感影象获得的专题信息主要是定性的。在景观类型分析中，还必须同时从其它信息源——地形图、地面实况资料获得非遥感信息，如坡度、高程和土壤某些特征等。它们有定量的也有定性的。但是这种定性信息都表现出属性上或水平上的差异，这为数量化表示奠定了基础。

这里把要素称为项目，在要素内划分的不同属性类型或水平称为类目。如可把植被要素作为一个项目，区域内植被要素划分的不同植被类型，如针叶林、阔叶林、混交林等作为不同的类目。对于定量专题要素，如地形高度可直接采用其高程值作为一个唯一的类目；也可以根据分析的要求，把它划分为若干水平，如1000—1500米、1500—2000米、2000—3000米等，分别作为地形高度这一项目内的若干类目。

参与分析的项目（专题要素）及类目的选择，可以根据研究人员的经验确定，也可以通过因子分析，根据因子的贡献而进一步确定。腾冲地区选择了绝对高度、坡度、岩性、自然排水条件、土壤和植被等6个项目，作为确定腾冲景观单元类型的基本要素。又进一步确定各项目中不同属性类型或水平的类目，如植被要素又划分为针叶林、阔叶林、混交林等不同类型。这样共确定了28个类目。

数据来源于由航空遥感、地形图，调查资料而得的6种基本专题地图——高程分级图、坡度图、岩性图、自然排水条件图、土壤类型图和植被类型图。

为了进行整个区域的数量化分析和计算机处理，必须把专题地图信息转换为一定的数字形式。为此，进行地图从多边形系统到格网系统的变换和数字编码。具体方法是，

把确定的格网系统叠加在各专题地图上，即根据相同的信息分辨力和一定的顺序，按照数量化的原则记录每一格网单元在各变量上的数值。图 2-44 是这一过程的示意。

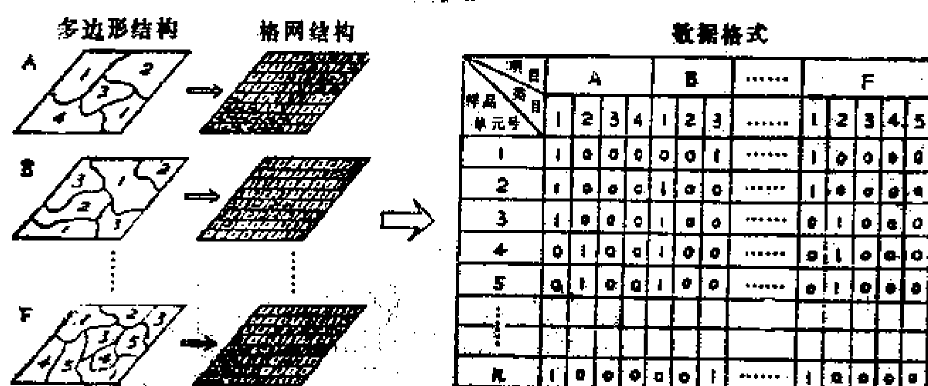


图 2-44 专题地图信息的数量化及数据格式示意

（2）判别分类

以景观单元的分析为例，可以把每一个样品当作多维空间中的一个点（或向量）。来自不同母体（已知景观类型）的样品在空间中形成若干点集。进行景观类型分析可以根据各样品对应于多维空间中分布的相互关系来判别它们在各母体中的归属。

①训练样品

在各已知类型内抽样，建立训练样品集合。由各类型样品的均值可确定各类型在多维空间中点集的中心。训练样品集合是建立判别函数的数据基础。

②判别函数的建立

判别函数的形式为

$$Y = XB$$

$$Y = (y_1, y_2 \cdots\cdots y_n)$$

$$X = (x_1, x_2, \cdots\cdots x_k)$$

$$B = \begin{pmatrix} b_1^1 & b_1^2 \cdots\cdots & b_1^n \\ b_2^1 & b_2^2 \cdots\cdots & b_2^n \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \\ b_k^1 & b_k^2 \cdots\cdots & b_k^n \end{pmatrix} = (b^1、b^2 \cdots\cdots b^n)$$

式中：y为判别得分；x为类目变量；k 为类目数；B 为判别系数、即类目得分；n 为选用的判别函数的个数（$1 \leqslant n \leqslant k$）。

判别系数矩阵实际上为一变换矩阵。它把样品点集从原来的K维空间变到换新的 n 维空间去判别，并消除原来各变量间的相关，使它们互相独立，从而更有效地反映出研究对象的特征。根据这一条件，并利用训练样品数据，可求得判别系数，建立判别函数。

③区域判别分类

根据判别函数，求得区域内每格网单元样品在判别空间中的点坐标。采用不同的判别原则，如点与各已知类型点集中心的距离，来确定各单元的所属类型。最后，得到腾冲实验区域景观分类图（图 2-45）。该图共分16类，分别为高山草甸灌丛、中山黄棕壤常绿落叶阔叶杂木林、中山黄红壤常绿阔叶林地、中山黄红壤落叶阔叶林地、中山生草化黄红壤草地、中山黄红壤针阔混交林地、中山黄红壤针叶林地、火山台地针叶林地、火山台地针阔混交林地、火山台地灌丛草地、火山裸岩灌丛草地、旱地缓坡地、梯田缓坡地、旱地高坝地、水田高坝地、低坝地。

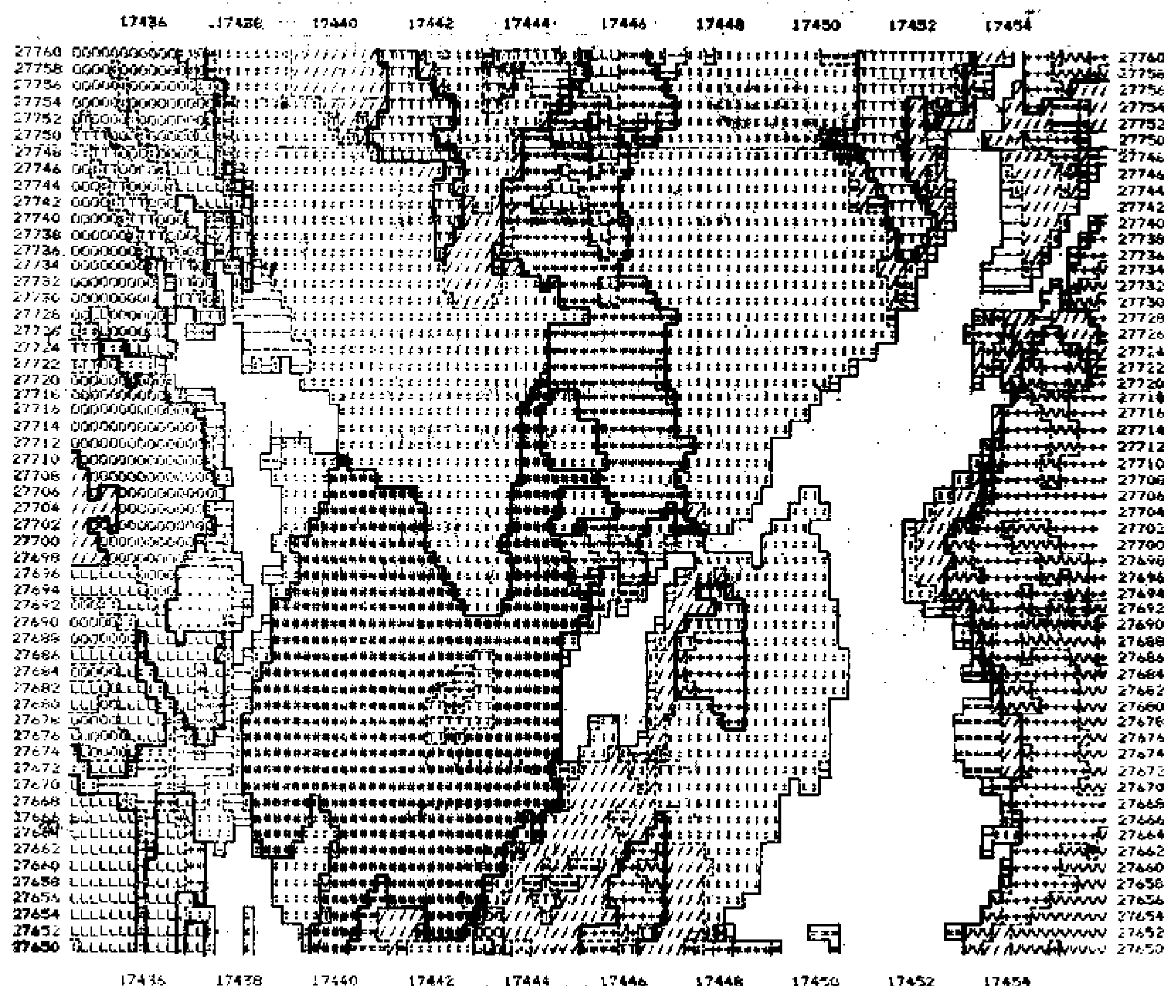


图 2-45 腾冲实验区域景观分类图

④精度评价

除旱地缓坡地，符合率在66.7%以外，其余均较高。

参考文献

〔1〕陈述彭：自然区划方法与制图实践，《地理集刊》，第4期，1963年

〔2〕邓静中：农业区划的性质、任务和进一步深入的问题，《农业区划》，第1期，

1984年

〔3〕陈述彭：我国西南亚热带山区的遥感研究，《亚洲遥感会议第一次学术会议论文集》，1980年

〔4〕廖克：综合地图集中自然地图之间的统一协调问题研究，《地理集刊》，第4期，1963年

〔5〕周心铁：遥感专题制图的信息单元特征和专题信息的数量化分析，《区域地理信息分析方法与应用》，科学出版社，1990年

第三章　遥感与地学宏观研究

前面已经讲过。遥感信息的一个重要特点就是它的空间概括能力。这一能力取决于影象的空间分辨率。它与遥感平台高度及传感器分辨能力有关。在传感器特征相同的条件下，遥感信息的空间分辨力主要由遥感平台高度所确定。高度越高，分辨力就越小，影象的概括能力也就越大。在概括的过程中，往往可以突出地反映出一些宏观的地表特征，如大型或巨型地质构造形迹、洋流、大气环流、地球资源（土地、森林、水等）的分布等。而一些小型或微型的地表特征常常由于概括而受到了忽略。这正是地学宏观研究所需要的。

传统的地学宏观研究，是在小区域、大比例尺专题图逐步缩小综合的基础上进行的。这一过程，一方面工作繁重，另一方面它无疑还受到研究人员主观意识的很大影响。而遥感信息的概括直接由遥感影象空间分辨率所决定。它体现了一种数据客观性，而且完全改变了传统地学宏观研究的工作程序。它可以根据分析的目标与对象，来直接选择适当的遥感影象，进行进一步的影象处理，提取所要的专题特征，从而使地学宏观分析建立在一个更客观、更经济的基础上。

鉴于对“宏观”地表特征的理解，这里所考虑的主要是航天飞机、陆地卫星及更高平台所获得的遥感信息。

事实上，地表的宏观特征表现得也是十分不同的。有直观的，如地表出露的大断裂、大型地质体等，也有间接的，如隐伏断裂、隐伏岩体等，还有自然历史变迁遗留下来的“痕迹”；有相对稳定的，如土地资源分布界线、地质体分布界线等，也有动态变化的，如植物“绿波”或“褐波”的季相带状推移；有单体的，如单个地质体、线状延伸的断裂线等，也有组合的，它们形成一定空间组合关系的复合体，如在不同地理条件下，土地利用单元的空间组合形式、线形形迹组合的某种构造体系等等。总之，情况是在变化的，这种变化具有明显的区域性。在进行遥感宏观研究的时候，我们首先要掌握区域的总体规律，研究不同的区域所具有的各自区域特点。在此基础上，选择合适空间分辨率，合适时相，合适光谱波段或其波段组合的遥感影象，采用合理的方法来研究地表宏观特征，这样才能处于主动的地位，而不至于陷于盲目。

下面就植物季相节律、土地覆盖与土地利用、地质构造形迹、自然历史变迁、全球研究等几个方面的遥感宏观研究方法加以说明。

第一节　植物季相节律的宏观研究

植被是地理环境中的重要组成部分。它分布广泛，与一定的气候、地貌、土壤条件相适应，受多种因素控制，对地理环境的依赖性最大，对其它因素的改变也最为敏感，是

对地理环境反映最好的标志。同时，植被覆盖在土地最表层，是遥感图象反映的最直接信息。由于植物内部的叶绿素、水分、结构等有着特殊的光谱效应，因而在遥感影象中它以各种色调、色彩、形状、大小、结构来反映它的内容和特点，尤为直观、较易识别。植被又是其它许多方面遥感解译的重要参考。无论进行哪项专题研究，在对遥感图象进行具体解译时，往往首先需要注意它的成象时间、季节，考虑图象所反映的当时当地的自然景观及农事历状况，也就是了解植物覆盖的概况。通过植物信息所反映的差异，来进一步分析水、土资源，研究自然历史演变痕迹、推断地质构造背景、找矿等专题内容。可见，植物遥感在整个遥感图象识别中有着重要的地位。而遥感对于植物季相节律宏观研究显示出特别的优越性。

植物在其生长发育的不同阶段，从内部成分、结构到外部形态特征均会发生一系列周期性的变化。如叶片结构即叶肉细胞间隙的增大或减小，叶绿素等色素的积累或衰退消失，叶片内部水分含量的变化，枝叶的发芽生长或老化脱落以及植株对地面覆盖率的变化等等。这种植物的周期性变化是以季节为循环周期的，故又称之为植物季相节律。既然植物的季相节律从植物细胞的微观结构到植物群体的宏观结构上均有反映。那么，这种反映也就必然导致单个植物或植物群体物理光学特征的周期性变化，因而有可能通过遥感记录下来。这种植物光谱特征随季节的变化在红外波段上表现得尤为明显(图 3-1)。

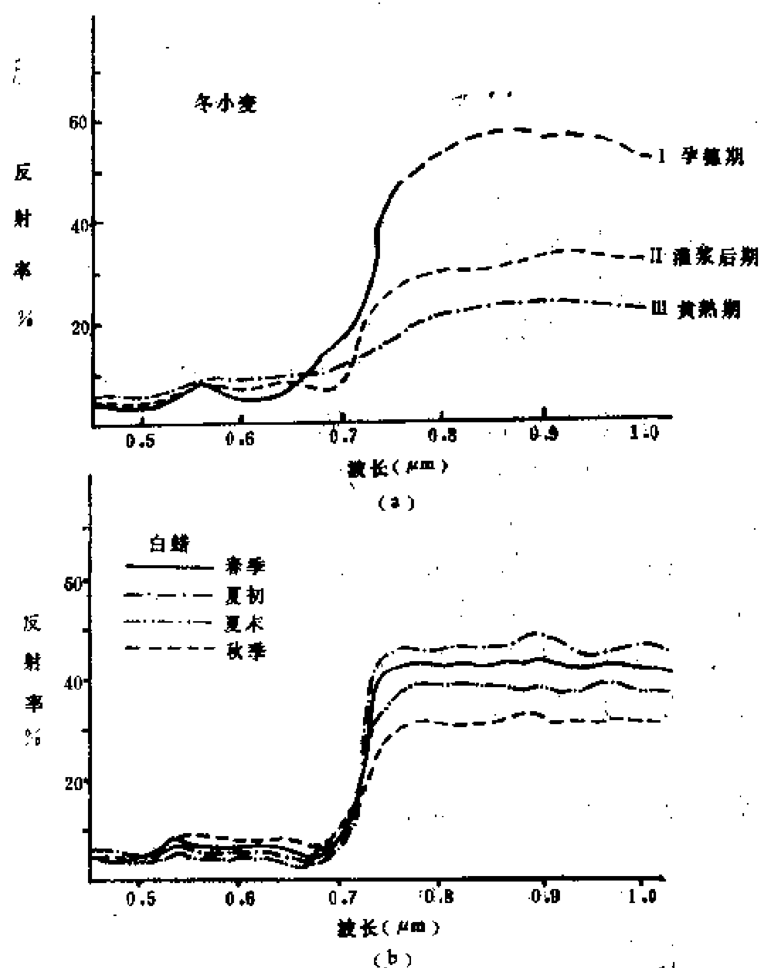


图 3-1 植物波谱的季相变化在红外波段的反映

一、植物季相节律的遥感研究方法

遥感技术利用各种传感器获取植物光谱响应特征季节变化的综合信息，并通过遥感图象上的影象密度值以及扫描磁带上的亮度值的周期性变化表现出来。遥感宏观的动态监测，还可以了解植物光谱随时间的变化过程和变化范围。

遥感宏观研究植物季相节律，主要采用两种途径。

（一）遥感图象上植物提供的直观信息

这里引出了自然植被的绿波、褐波概念。所谓绿波是指春季自然植被叶子开始发青时，在遥感图象上所反映出的一条曲线。所谓褐波是指秋季自然植被的叶子开始发黄时，遥感图象上所反映出的一条曲线。植物的绿（褐）波反映了植物叶绿素含量的季节变化。通过多时相卫星遥感信息的研究，可以很形象地了解绿波、褐波的推移规律等宏观物候现象。

（二）植被指数

遥感图象上的植物信息，主要通过绿色植物叶子(植冠)光谱特征的差异及动态变化而反映出来。绿色植物的叶子是植物进行光合作用的基本器官。由于植物叶子的叶绿素含量、水分含量、组织结构、叶层构造等的差异，使植物光合作用的能力、植物干物质积累、叶面积的大小等均有差异，造成植物反射光谱特征的差异。这就是说，植物遥感信息中所包含的叶子及其生长状况等综合信息，直接指示植物干物质的积累以及生物量的多寡。不同光谱通道的信息，可以与植被的不同要素或状况有各种不同的相关性。因而，把这些遥感数据经过分析运算而得到的某些数值，往往可能提供更好的植物信息。这便是引出植被指数概念的理论基础。

所谓植被指数(绿波指数)就是由多光谱数据，经线性和非线性组合构成的对植被有一定指示意义的各种数值。在植被指数中，通常利用植物光谱中的近红外与可见光红波段两个最典型的波段值。近红外波段是叶子健康状况最灵敏的标志，它对植被差异及植物长势反映敏感，指示着植物光合作用能否正常进行；可见光红波段被植物叶绿素强吸收，进行光合作用制造干物质，它是光合作用的代表性波段。这两个波段数值的不同形式组合，是植被指数的核心。由于植被指数与叶面积指数、叶重、种群数量、生物量、叶绿素含量等都有很好的相关关系，植物的长势、覆盖度、季相动态变化等直接对应着植被指数的数量变化，因而采用植被指数便于植物专题研究、绿色植物的遥感监测以及生物量的估算。此外，运用植被指数，在一定程度上有助于减少外界因素（如太阳高度角、大气状态和非象底观测）带来的数据误差，更利于植物专题信息的提取。

常用的植被指数主要有以下四种：

1. *归一化差值植被指数*

归一化差值植被指数（Normalization Difference——ND）又称标准化植被指数(Normalized Vegetation Index—NVI)。

ND被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差和这两个波段数值之和的比值。即 ND=(IR—R)/(IR+R)。在陆地卫星 MSS 中，$ND=(M_7-M_5)/(M_7+M_5)$；在气象卫星 AVHRR中，$ND=(CH_2-CH_1)/(CH_2+CH_1)$。它在使用遥感图象进行植被研究以及植物物候研究中得到广泛应用。它是植物生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子，与植物分布密度呈线性相关，因此又可称之为生物量（Biomass）指标。美国国家气象数据中心卫星数据服务部(SDSD)利用 NOAA-7 的多光谱数据所作的全球标准化植被指数图，为全球性植物物候研究提供了新的依据（彩页 2(a)）。

实验证明，ND 对土壤背景的变化较为敏感。当植物覆盖度小于 15% 时，数值高于裸土的 ND 值；而植物覆盖度由 25—80% 时，ND 值随植被量呈线性增加；当植物覆盖度大于 80%时，ND 对植被检测灵敏度下降。因此，ND 很适于早期发展阶段或低覆盖度植被的检测[3]。

2. 比值植被指数（Ratio Vegetation Index——RVI）

RVI被定义为近红外波段与可见光红波段数值的比值，即RVI=IR/R。在陆地卫星 MSS 中，$RVI=M_7/M_5$；在气象卫星 AVHRR 中，$RVI=CH_2/CH_1$。

RVI 是绿色植被的一个灵敏指示者。研究表明，它与叶面积指数（LAI）、叶干生物量、叶绿素含量相关最好。当植被覆盖小于 50%时，RVI 不能很好地识别植物密度差异；但在高覆盖度下，RVI 将变得对植被十分敏感，与生物量的相关性最好。因而，RVI 更适合应用于植被发展高度旺盛、具有高覆盖度的植被监测中[3]。RVI 对大气状况极为敏感。大气效应极大地降低了它对植物检测的灵敏度，尤其在RVI值高时，其影响相当显著。因此，最好运用经大气校正的数据。

3. 环境植被指数（Environmental Vegetation Index——EVI），又称差值植被指数。

EVI 被定义为近红外波段与可见光红波段数据的差值。即EVI=IR−R。在陆地卫星 MSS 中，$EVI=M_7-M_5$，在气象卫星 AVHRR 中，$EVI=CH_2-CH_1$。

EVI 对土壤背景的变化较 RVI 要敏感。在植被覆盖度为 15—25%时，它随植被量的增加而迅速增大；当植被覆盖达80%时，它对植被的灵敏度有所下降。EVI在 AVHRR 的植被遥感中应用较为普遍。

4. 穗帽（Tasscled Cap）转换技术中的绿被指数（Green Vegetation Index——GVI）和正交植被指数（PVI）

ND 与 EVI 均受土壤背景值影响大，为了消除和减轻土壤背景值对植物光谱的影响，目前世界上广泛采用光谱数值的"穗帽"转换技术。它是基于陆地卫星 MSS 四维光谱数据，由 Kauth 和 Thomas (1976) 首先提出的。植被光谱数据点的时间轨迹在MSS数据空间中形成一个所谓的"穗帽"图形，而土壤光谱则构成一条从坐标原点向外的辐射线称土壤亮度轴。在这种 Tasscled Cap 转换图形上，不仅土壤与植物光谱特征互不相关，植物的绿度测量可排除土壤背景的干扰，而且可以直观地测量大多数植被发展中的三维结构。

GVI 相对于健康植被的出现，是用于监测植物状况的一个很有用的指数。正交植被

指数 PVI 是在二维数据中对 GVI 的模拟。两者的物理意义是相同的。

据外国专家研究，对于陆地卫星 2 号 MSS 数据而言，

$GVI=0.388M_7+0.557M_6-0.660M_5-0.283M_4+32$

$PVI=0.939M_7-0.344M_5+0.09$

从理论上讲，GVI 和 PVI 是不受土壤背景的影响的。它们对植被具有适中的灵敏度，利于提取植被在各种土壤背景下的生长发展信息。

对于气象卫星改进型甚高分辨率辐射仪（AVHRR）而言，其绿色植被指数（GVI）的优点是：不仅可以最大限度地减少土壤背景的影响，而且与陆地卫星 MSS 数据穗帽转换技术中的绿度（GVI）有极高的相关性（$R^2=0.99$）。也就是说，尽管气象卫星与陆地卫星的空间分辨率、时间分辨率不同，但是它们可以获得在数据结果上高度一致的绿被指数。正因为使用穗帽转换技术后，两个卫星系统的 GVI 的结果可达到高度兼容性和可对比性，因而在监测植被中，多时相 AVHRR 数据的 GVI 可以直接用以替代或填补陆地卫星 MSS 资料的空缺，更利于植物季相节律的综合分析研究。

根据典型大气参数，大气外太阳分光光谱照度数据，AVHRR 定标参数及由实验计算出的转换系数，可获得实际应用的 GVI 表达式[1]：

$GVI=1.6225x_2-2.2978x_1+11.0656$

其中 x_2 和 x_1 表示 NOAA－7 改进型甚高分辨率辐射仪（AVHRR）中 CH_2 和 CH_1 的 8bit 结构的图象亮度值。GVI 的数值大小与植被生长的旺盛程度成正比。

这里应该说明的是，植被指数对时间的依赖性，除决定于植物本身的生理生态状况（即季相节律）以外，还取决于太阳高度角和方位角变化对植冠双向反射的影响程度。研究表明，ND 估算叶面积指数因不能排除不同太阳角对光谱的影响，因而数值变化较大，而 RVI 与叶面积指数的关系在全年内是稳定的。因而在使用光谱数据前，要考虑太阳度的归一化订正，以排除太阳角度变化对植被指数的影响。不同的应用目的需要选择角不同物候期的植被指数。在生物量估算中，Siddoway 等认为光谱指数与小麦产量相关最好的时期是从作物的茎生长到谷粒充分含水的成熟阶段。肖乾广等认为植物指数值与小麦叶绿素含量相关最好是拔节到乳熟期，此时是小麦遥感估产的最佳时期。植被指数继开花期后减小的速率可用衰老率表示。它与农艺学及环境条件有关。Idso 等甚至提出可用衰老率来估产。内蒙古草场资源遥感调查中证实，对于产草量而言，RVI比ND 变化更为敏感，且动态范围为 ND 的 10 倍[4]。

二、应用实例

（一）植物绿波、褐波的遥感应用

1．绿波、褐波直观遥感信息的应用

美国 Dethier 等人应用多时相陆地卫星遥感资料，研究全球的绿波、褐波推移规律。通过对赤道两侧两条波状绿波等候线向两极方向推移规律的监测与研究，从而证明了采用卫星遥感方法从宏观上显示植物季节变化规律的地域分异特征的可能性。图 3-2 上

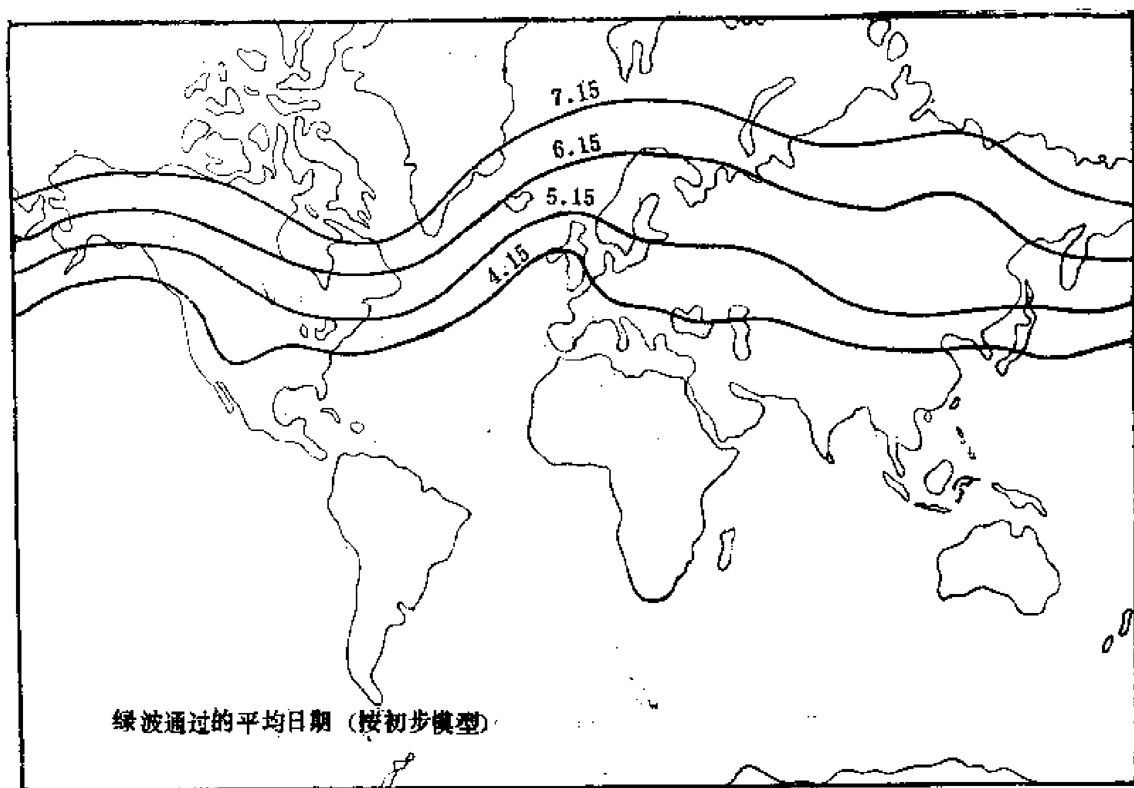


图 3-2 北半球绿波(草的变绿)通过的平均日期(Dtehier,1973)

标出4月15日、5月15日、6月15日、7月15日每间隔一个月的4个不同时期的绿波等候线图。在北半球，它们向北波浪式的推移。4月15日绿波线已推移到北纬30°以北，但与纬度线不完全平行。4条绿波线推移间距不一，一般内陆地区其间距较大，这表明内陆热交换频繁，气候变化大；从内陆向沿海反映了大陆性气候向海洋性气候的差异。图中还可见，绿波线在大陆西缘发生明显的向北突起现象。这是由于大洋东侧暖流的影响所致。动态遥感的绿（褐）波研究的意义不仅在于可以直接反映植物及生态环境的季节变化规律，揭示出自然地带的地域分异规律，而且对全球性作物、森林、草场等资源估产也是一个重要依据。

图3-3是以刺槐作为分析对象，根据1963－1967年五年的物候记录，绘制的刺槐开始展叶期(绿波)和全部变色期(褐波)的等候线图。它显示了我国华北地区刺槐绿(褐)波运移规律[2]。刺槐在绿波和褐波的表示中是一个具有代表性的树种。掌握了植物及生态环境的正常季相节律及农事历特征，可以为选择获取遥感信息的最佳时段提供依据，同时根据其季相节律多年平均的正常背景值，来发现异常物候现象，从而寻其异常的原因，进行环境质量评价。图中华北地区的绿(褐)波运移规律，可以作为天津地区植物物候的背景值来研究天津地区植物生态环境的季相节律。从多时相遥感图象及实际观测资料分析可以看出，天津市的绿波较正常背景值早到一个星期，而褐波却推迟一个星期，前后相差约半个月。经研究发现，这种异常现象是与天津城市的热岛效应、土壤背景条件

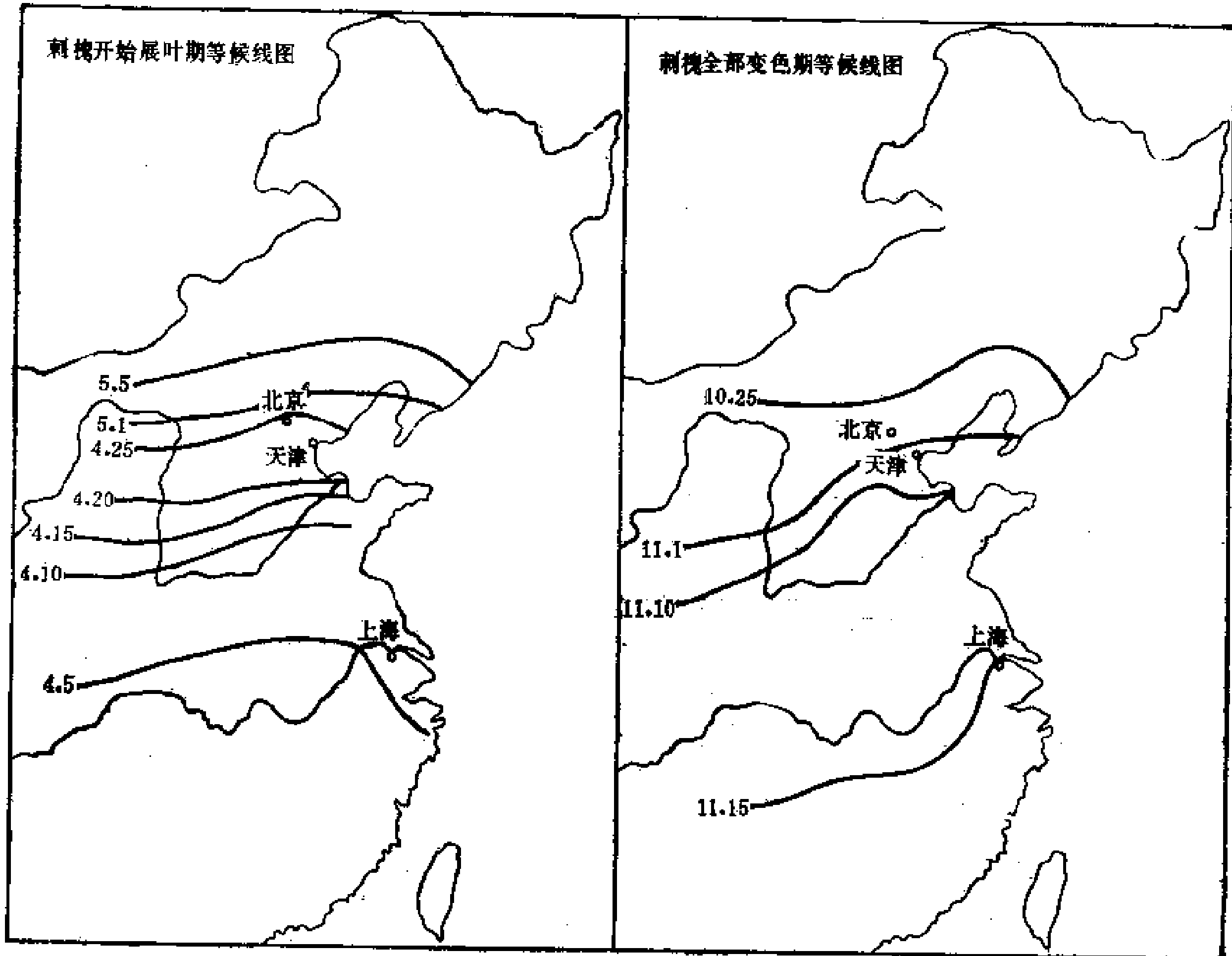


图 3-3 华北地区绿波及褐波过程(据1963—1967年资料整理)

以及环境污染等密切相关的。所谓城市热岛效应，指的是大城市上空发生的热积聚现象。天津中心热岛效应为5℃，北京天安门附近热岛效应为4℃，热岛效应最高的是墨西哥城达8℃。这是利用植被宏观信息作为间接标志进行城市环境质量研究的一个例子。

2．绿波、褐波植被指数的遥感应用

气象卫星较陆地卫星周期更短，宏观性更强。尤其是TIROS/NOAA系列中的改进型甚高分辨率辐射仪AVHRR数据被更广泛地应用于植物遥感的研究中。

黄签（1985）利用我国东部1983—1984年接收的多时相气象卫星影象系列及镶嵌影象系列，选择以红色成分对应植被生长旺盛程度，同时以绿色植被指数（GVI）作为植物生长状况的定量判读标准，GVI稳定通过30作为绿波来临的指标，研究了我国东部绿波带北移的速度（即增温情况），同时对植被分布及物候规律做了分析。

通过对1年周期中三个时期（春5月7日—9日、夏7月28日—8月4日、冬11月16日—12月1日）中国东部气象卫星镶嵌影象系列及对应的植物指数GVI彩色编码图象的分析所作的GVI等值线图（图3—4），可以看出定量化植被指数对自然地带的研究可以提供直观信息和界线划分的参考依据。比如，一年中GVI最低值稳定在30的区域界

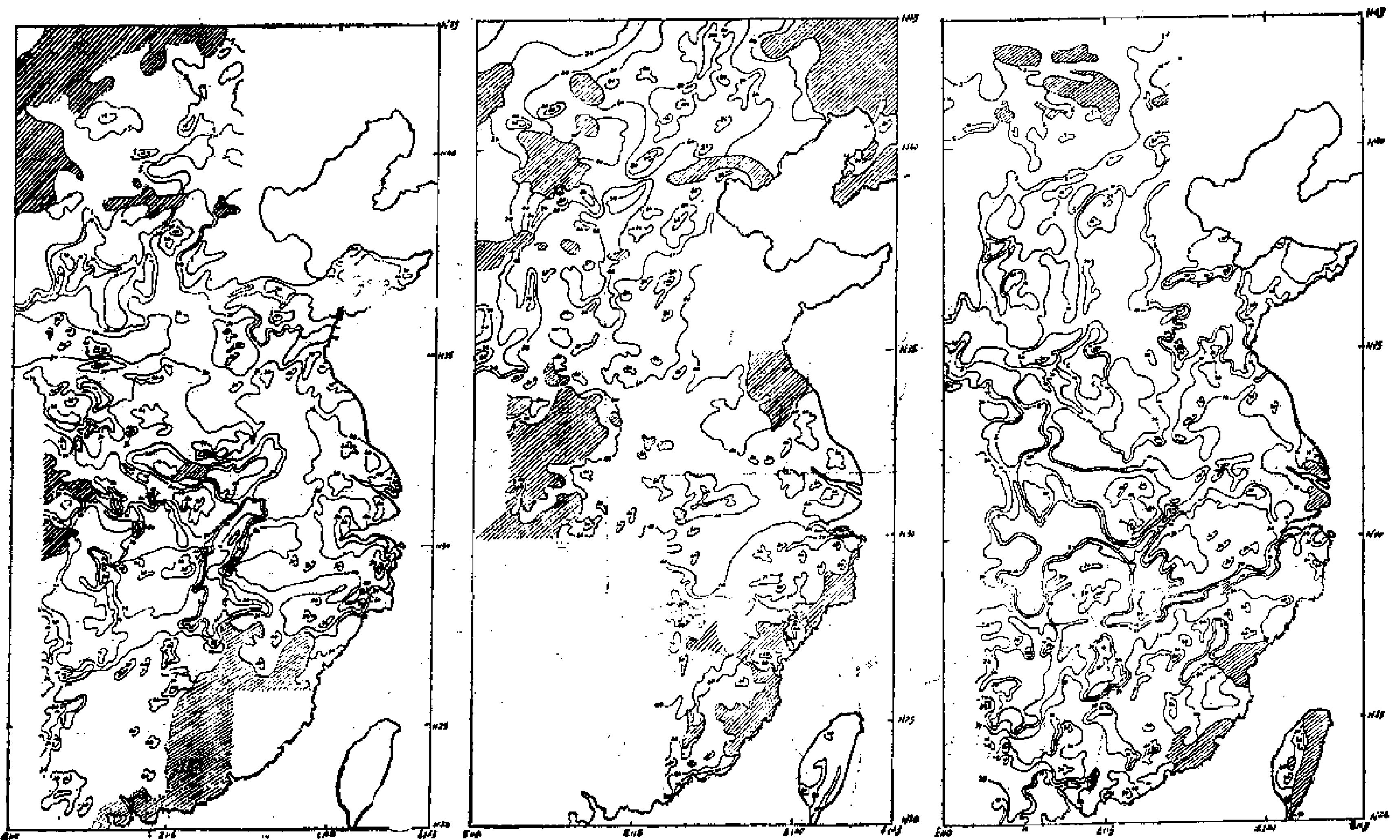


图 3-4 中国东部GVI等值线图(左：春，中：夏，右：冬)

线，正好与中亚热带南部与北部分界线相吻合（图 3-5）。这是南岭作为气候分界线在植被季相动态变化上的体现，也是通过遥感特有的宏观性而获得物候学规律的影象反映。此外，在成象区域内，全年保持低水平的 GVI 数值区域位于西北部荒漠草原、晋陕交界黄河两岸和河北南部低平原农业区。这正是植被覆盖和作物生长较差的地区。图 3-6 是对上图做对比分析所得的植被指数 GVI 年较差示意图。图中反映出 GVI 年动态变化由北向南逐渐减小的规律。最大动态变化区位于内蒙古草原（ΔGVI 达到 80）。夏季，GVI 的分布趋势呈现北高南低的倒置现象。这反映了各种植被群落的季相变化。这些自然地带界线在遥感影象分析中变成了一种直观形象的信息。它为自然地理学中某些理论问题的进一步研究提供了一些参考。



图 3-5 全年GVI最低值稳定在30以上区域界线



图 3-6 植被指数GVI年较差示意图

通过对多时相区域影象系列研究，可以详细地分析植物季相变化的动态过程。以我国东部二张麦卡托投影图象组成的区域（N30—39°，E110—117°）为例，选取了 1983 年 9 月—1984 年 8 月间的七个时相的影象系列，它们大部分完全同步。

(1) 1月中旬 (1984年1月12日)影象为典型冬季影象。GVI 普遍很低或接近于0，仅山地、高原GVI达5左右，甚至少量斑状区域达到15。这反映了山地针叶林的光谱特征和地理分布。农作区的GVI基本反映冬小麦覆盖度的差异。

(2) 4月中旬 (1984年4月13日) 影象。多数树种进入展叶期。GVI值已普遍上升到20—25，部分山体已达30的水平。自然植被南北差异有所表现。冬小麦处于拔节—挑旗期，影象上呈鲜红色。

(3) 5月上旬(1984年5月7日)影象。把GVI稳定通过30作为绿波来临的标志。此时影象记录下绿波推移过程，并可通过山地植被的色调分布特点反映物候在垂直地带上的微弱差异。GVI从北部五台山一带很低--→太行山南段、吕梁山、太岳山达25—30--→中条山一带猛升到40—45。表明绿波前缘已推进到N36°—37°一线与地面观测资料基本吻合。此时影象自然植被表现为绿波北推。农作物仍以冬小麦为主，GVI在北部普遍较4月份影象为高，而南部的冬小麦接近黄熟则表现为"褐波"北推。稻为插秧前后的水田覆盖特征，北方旱作区春播作物如春玉米、棉花等已出苗，南部春玉米接近拔节。

(4) 6月初 (1984年6月2日) 影象。为GVI全年最高值时期。影象记录了绿波推移的一、二、三层次，分别对应GVI的30—40、45—55、60—70。南部山地呈明亮的鲜红色 (第三层次)，北部山地多暗红色 (第二层次)，绿波的前缘 (第一层次) 已推过了内蒙古草原带。冬小麦的"褐波"已推进到河北、河南二省交界线一带。

(5) 7月底、8月初影象。盛夏时节，已看不出植被的南北差异。GVI处于夏季稳定时期，均稳定在50—55，局部为60。广大农作区普遍为较均匀的红色。这一时期降雨多，地表水丰富，影象反映地表水文状况明显。淮河流域各湖体水位上涨，水面增大，以南地区出现些低洼湿地和积水区。

(6) 9月中旬 (1983年9月14日) 影象。自然植被相对稳定，南北差异不大。GVI稳定于45—55。农作物由连片均一的红色转为块状、斑状图形。这表明多数春播作物已成熟，夏播作物也接近成熟。

(7) 11月中下旬影象。自然植被多处于落叶期。GVI急剧下降，褐波效应明显。把GVI平均状况低于30作为褐波来临的一个数量指标。农作物的红色调反映冬小麦冬前生长状况。由于冬小麦在北方播种早、生长期长，在南方播种迟、生长期短，因而在冬小麦发育早期，北方小麦物候期超前南方出现南北差异，这可以作为小麦在秋季的"绿波"效应。但北方冬小麦越冬期长，春季来临时，南方小麦物候期超前北方区出现相反的南北差异，这可以作为小麦在春季的"褐波"效应。可见，冬小麦的"绿波"与"褐波"恰与自然植被的绿波与褐波在出现时间和推进形式上相反。

以上的应用分析结果表明，利用气象卫星获取的多时相影象系列，能很好地反映宏观植被生长发育的年度循环。整个过程均可用数量化的绿色植被指数GVI值来表达，并可将GVI=30作为数量化衡量指标。在以上遥感影象系列中，人们可以看到宏观植被绿波与褐波的推移过程以及山地植被垂直地带的物候差异。农作物的物候现象较自然植被复杂得多。这是因为各地作物类别、品种复杂多样，耕作制度也不相同。即使同一作物播种

期的先后，也将导致物候期的不一致。运用多时相系列影象进行农作物分析时，必须配合农事历，这样便可以在相当大的区域内区别不同的耕作制和主要大田作物的集中分布情况。

（二）大面积作物估产研究

利用遥感技术监测农作物长势和进行大面积作物估产，是遥感用于植物宏观研究中又一突出的例子。

所谓大面积作物是指一个较大区域内，某种单一作物如小麦、玉米等。尤其是小麦，在众多作物中，它的栽培日程是独特的，这样也就等于影象中的“单一”作物。它通常由较规则的田块组成。大面积作物区域内部较大作物田块，这一空间分布特征以及内部相对较均匀的光谱分布特征是进行遥感宏观研究的前提。国内外实践表明，应用陆地卫星、气象卫星遥感监测资料，结合地面模式研究和历史统计资料进行大面积作物估产是完全可行的。

大面积作物估产主要涉及到三个方面的工作，即作物识别，土地面积估算和作物长势分析。在这三项工作的综合基础上，建立不同条件下的多种估产模式，进行作物的遥感估产。

1．作物识别与土地面积估算

这两项工作往往结合在一起进行。根据农田的大小，可以采用抽样技术来选择分类单元的大小。在保证抽样误差许可条件下，以最大限度地压缩数据处理量，减少处理费用。

基本过程为：

（1）通过图象的增强处理，来突出并提取作物信息。

（2）训练统计，即把卫星遥感影象数据与地面参考数据之间建立相关。把已知类型的地块分为两个部分，一是训练地区，用来建立分类判别函数；二是检验地区，用于后阶段评价分类结果。

（3）利用多光谱数据，对全区进行分类与面积统计。

（4）分类结果的精度评价。从美国用陆地卫星遥感数据对堪萨斯州14个县的分析结果看，分类精度可达到85%以上。因此比较精确的面积估算一般可以由这些结果获得。

2．作物长势分析

作物长势分析是一个动态过程。它要求利用多时相遥感影象信息，反映出宏观植被生长发育的节律特征。它常以数量化植被指数作为评价作物生长状况的定量标准，建立各种植被指数与产量之间的相关关系，并结合地面实况调查，建立起各种不同条件下单位面积产量的估产模式，以实现遥感监测大面积作物长势并进行产量估算的目的。

气象卫星遥感数据周期比陆地卫星更短。这对监测作物长势动态变化这一点来说具有更明显的优势。

图3-7是对黄淮海平原地区旱地作物的主要类型——冬小麦长势分级图[1]。它主要利用1984年4月13日NOAA-8的遥感资料。这一时期研究区内作物品种较为单一，

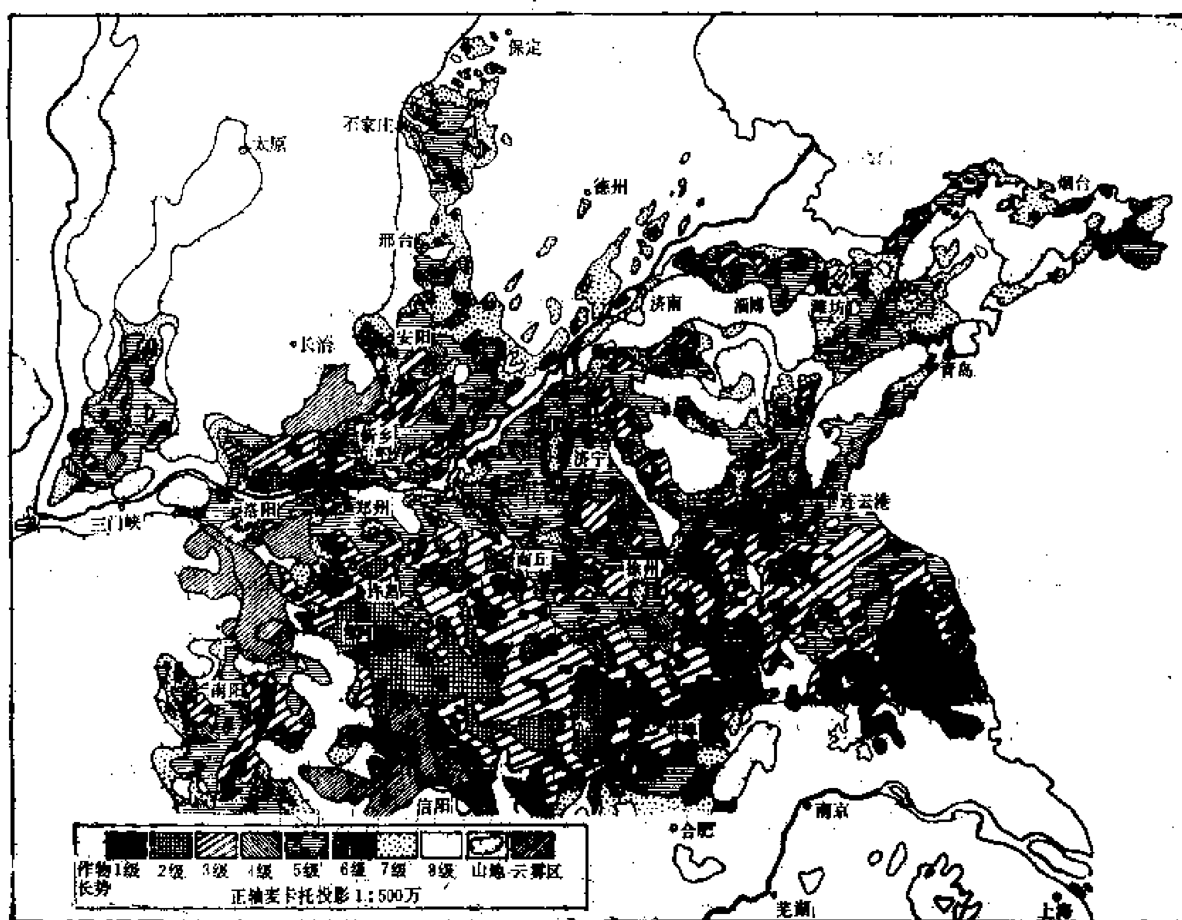


图 3-7　黄淮海平原地区冬小麦长势分级图

除冬小麦外，其它大田作物多未播种，即使少部分已播种也最多是刚刚出苗，对冬小麦成象几乎无干扰作用。而冬小麦却处于拔节—孕穗阶段，为生长的关键时期，对最终产量关系密切。因而，选择这一时期的影象进行冬小麦长势分析和估产，具有一定的实用价值和生产意义。作物长势评价是通过数量化的绿色植被指数（GVI）来表达的。对每幅影象作 32 级彩色编码的 GVI 图，按不同的 GVI 数值范围分为 8 级，作为冬小麦长势分级的数量指标。再经过地面抽样调查，建立每一级别与产量间的相关模式便可进行宏观上的作物估产。

4 月份影响小麦产量的主要障碍是春旱、土壤肥力不高以及土壤盐碱化。但是，利用气象卫星进行作物长势评价时，必须考虑到还有些因素影响到评价结果的准确性。首先得考虑作物的覆盖度。由于评价是取决于 GVI 的数量指标，而 GVI 值不仅反映作物生长的旺盛程度，也与作物的分布密度相关。也就是说，与小麦田块的大小和集中程度有关。其次，要考虑物候期的差异，进行适当的校正(根据各地农事历，以准同步方法取得合适影象来进行分析)。此外，还涉及到种植方式的不同，即间作、套作与轮作方式的不同。如黄淮海平原北部(京、津、冀、鲁地区)小麦套作玉米占一年二熟制耕地的 80%

以上；南部多为小麦复种玉米；产棉区小麦、棉花套作也很普遍。套作方式又可以多种多样。这些均易产生长势评价的判断错误，应具体分析，分别对待。这就需要建立典型试验区，对上述问题经实地调查验证取得经验，以解决卫星数据的校正问题，方能使气象卫星在农业生产上发挥更大效益。

在内蒙古草场产草量估算中，运用了陆地卫星TM的比值植被指数(RVI)来作产草量分级图[5]。因为比值植被指数RVI对大气效应敏感，故要考虑到大气对TM 3、4数据的影响，进行必要的大气校正。大气校正后，再作比值图象经线性拉伸后得草场产量分级图，将产草量分为8级。选择几十个草场样地，每个样地1平方公里，测其光谱。同时，在每块样地中又选2—3个样方，每个样方0.5或1平方米。每个样方中，测草的鲜重(地上生物量)、干重、覆盖度等植物群落参数，建立牧草产量的地面模式：

$W=-86.9+162.65\,G_{TM}$　　W为鲜重。$G^2_{TM}=\rho_4/\rho_3$（地面反射率比），经大气校正后，G_{TM}相当于$RVI=N_4/N_3$（磁带所记录的数据比）。W与G的相关系数$r=0.97$，说明绿度G与鲜草重量W相关性好。根据相应的地面模式便能进行草场资源的生物量估算。这张产草量分级图实际上也反映草场类型分布、利用方式和草场退化、沙化的现状，因此逐年的比较产量分级图便可以监测草场动态变化情况。

参考文献

〔1〕黄签：NOAA影象在宏观植被季相动态遥感中的应用，《遥感信息》，第4期，1986年

〔2〕刘纪远：天津地区植物季相节律的遥感信息初步研究，天津-渤海湾地区环境遥感论文集，科学出版社，1985年

〔3〕Jackson R.D. et al., Discrimination of Growth and Water Stress in Wheat by Various Vegetation Indices Through Clear and Turbid Atmospheres, 1983

〔4〕P.H.Swain, S.M.Davis, Remote Sensing: The Quantitative Approach, McGraw-hill International Book Company, 1978

〔5〕金丽芳：用陆地卫星TM资料作内蒙古草场产量分级图，内蒙古草场资源遥感应用研究，内蒙古大学出版社，1986年

〔6〕王品清：我国卫星图象数据用于生物量研究，《遥感信息》，第4期，1987年

〔7〕邹尚辉：植物生物量和作物产量遥感估算的若干理论问题，(同上)

〔8〕D.A.Quadir et al., A Study of Vegetation Patterns in Bangladesh with AVHRR Data, *ASIAN—PACIFIC Remote Sensing Journal*, Vol.1 No.2, 1989

第二节　土地覆盖与土地利用

土地是地表某一地段包括地质、地貌、气候、水文、植被、土壤等全部自然要素以

及人类活动影响在内的自然综合体。它是一个综合的自然地理概念，要求同时对地表全部自然因素，即整个自然地理环境进行综合分析研究。土地的研究对象是岩石圈、大气圈与生物圈相互接触的边界，即从土壤的母质层→地表→植被冠层，是各种自然过程(包括物理过程、化学过程、生物过程及人类活动)最活跃的场所。

遥感图象反映的是地表及地下一定深度环境信息的综合特征，是地表景观的缩影。土地覆盖是遥感图象所反映的最直接的环境信息。它不仅突出地反映了区域景观的主导因素，而且提供了分析其它因素的原始数据和资料。因而，在遥感图象上土地覆盖的识别是研究某一区域气候、地质、地貌、岩石、土质、地下水分布与埋深、土壤、植被及其相互关系的基础。

一、遥感对土地资源的宏观研究

遥感对土地资源的宏观研究，通常包括土地类型、土地利用、土地质量评价等的宏观分析。同时，为了保持土地的合理生态，对土地大规模的沙漠化、盐碱化、沼泽化、土壤侵蚀等，需要进行遥感动态监测。

（一）遥感对土地类型的宏观研究

土地类型主要研究土地本身的自然属性。即各自然地理要素的基本特征，反映该地区的区域景观特征、主要自然地理过程。它一般根据基本一致的水热条件划分为土地相、土地单元、土地系统三级，多采用地貌—土壤—植被三名法。如山地—棕壤—阔叶林地，平原—草甸土—旱耕地等。这就是说，土地类型具有立体多层次复合结构的特点。

在遥感图象上，土地类型主要是通过色调、形态构成的影象结构来建立相应的直接解译标志，同时结合地学、生物学、土壤学的研究，从地貌、植被、土壤入手，并以地貌与植被为主，采用地理相关分析法，来获得间接解译标志。遥感图象上这种影象结构特征，主要取决于地貌、植被、土壤诸要素的影象综合特征、空间组合特征。很显然，对区域综合自然体的形成特点、分布规律及自然地理各要素的形态与组合特点的深刻了解，才是认识土地覆盖类型影象特征最重要的基础。

（二）遥感对土地利用的宏观研究

土地利用主要研究各种土地的利用现状（包括人为和天然状况）。它的分类主要依据土地的用途、经营特点、利用方式和覆盖特征等因素。由田块大小、组合方式、土地覆盖类型组合构成的土地利用方式和格局，具有明显的区域性。它仅表示土地覆盖类型与土地实际用途的相互关系，而不表示土地的潜在用途或土地的适用性。

遥感宏观研究土地利用，主要通过对区域土地利用条件及特点的认识，来理解不同区域土地利用在遥感影象组合结构特征，从而进一步揭示研究区土地利用条件、开发利用特点、动态变化规律。利用遥感数据可以对各种地表特征或覆盖类型进行识别和分类，但涉及到人对土地利用的具体活动，则必须用其它手段来进行推断或验证，如植物

类型为林地，但具体是用于产材、旅游，还是野外动物保护区等，只有把遥感数据与其它辅助数据结合才能了解。由于土地利用状况处于频繁的动态变化之中，因而遥感图象的时间分辨率的选择尤为重要。这就要求，根据研究区的物候特点及农时历状况，选择植被及农作物发育对水热条件反映最好的季节，作为影象判读的最佳时段，以便从遥感图象中提取更丰富和更有利的土地利用信息(彩版 7(a))。

应该说明的是，土地利用类型的形成是自然和社会经济等因素综合作用的结果。由于多种原因，使土地利用条件与土地利用方式常常并不适应。因而，一项重要的工作便是从土地利用条件和利用现状分析中，寻找出综合开发利用合理布局的方案和途径。这便引出了第三个内容——土地资源、土地潜力的研究。

（三）遥感对土地资源的宏观分析

土地资源主要研究土地农林牧的生产潜力包括适宜性、限制性以及各类土地不同的利用方向及改造措施。反映土地生产潜力组合的空间分布、综合地表现土地资源的基本状况，包括质量与数量两方面的基本内容。它以土地质量评价为核心，以土地类型和土地利用现状为基础。

遥感进行土地资源分析评价，首先是在土地类型图和土地利用现状解译图的基础上，对研究区的地貌、土壤、水文、植被等自然环境特征进行图象识别，再结合地学等非遥感资料进行遥感地学综合分析。最后，对农林牧生产潜力进行评价和分类。如，可以分为宜农林牧地、宜林地、宜牧地等，再根据土地适宜程度分为一等地、二等地、三等地等。

（四）土地退化的遥感宏观分析

土地资源是人类基本的生产资料。它随时随地发生着自然及人为的变化。特别是在我们人口众多的国家里，有限的土地资源上，负载力很大，加之土地管理制度不够稳定、土地经营粗放。因而，土地资源质量和数量上的变化便显得更为突出，土地资源利用的不合理现象也较为普遍。土地的过度开发耕种、森林的过度砍伐、草原的过度放牧等，破坏了自然界的生态平衡，造成较严重的土地贫化、沙化、盐碱化、沼泽化以及水土流失等现象。

这些土地退化现象是可以通过遥感图象上影象色调、形态、纹理结构等的变化反映出来。

下面以沙漠化为例来说明土地退化的遥感宏观研究。

沙漠化是“人类诱导—气候地貌”过程。它是干旱半干旱地区（包括部分湿润区）土地生产力衰退的环境退化过程，是人类强度活动与环境资源之间不协调产物。丰富的沙源及干旱多风的气候是沙化形成的自然因素，而滥垦耕地、超载放牧、过度樵采以及水资源利用不当等人类活动是沙化形成的人为因素。这就是说，土地强度利用与干旱多风的沙质地表环境相互作用，使脆弱生态平衡发生破坏，从而使地面出现风沙活动为主的类似沙漠景观，如流沙再起、固定半固定沙丘活化、沙漠边缘向外扩张、风沙堆积和

降尘作用，导致部分耕地、草原退化而成裸地或被沙土覆盖等。

沙化与植被退化是生境变迁(主要是风蚀与沙埋过程)与植被演替交互进行的过程。在遥感图象上多以植被信息的衰减和风沙信息的增强为其特色的。具体表现为流沙、沙丘、风蚀地等的出现。流沙、沙丘多呈浅色絮状，几乎平行的条纹超覆于其它背景信息之上。它具有一定的方向性，颜色为浅黄—黄白—白色逐渐过渡，界线不清，边缘有晕化现象。这种条带结构的延伸方向与风向关系密切。它基本代表了该地区的主风向。此外，在较均一的草场背景影象中出现“天窗”——浅色、白色的斑点、斑块，多是弃耕、缺水、超载而退化的草场或风蚀地等。

内蒙东部的科尔沁中旗，位于科尔沁草原的坨甸地区，属温带草原地带。这里气候干旱、风力强、风期长，河流冲洪积物以及下覆地层提供了丰富的沙源，加上长期人为的垦荒耕地、灌木和柴草的不合理樵采以及过度放牧，草原退化，造成植被、土被破坏，沙化面积逐渐扩大。草原上沙丘带形成高起的坨子地——以疏林草原为主。坨间是甸子地，高位甸子地为干甸子地多为湿草地即草甸草原;低位甸子地常与风蚀浅槽、风蚀凹坑伴生，因排水不畅常积水而呈沼泽湿地或积水湖泊。在9月份的假彩色合成图象上，较均一的浅红、棕红色草原背景上，裸露的沙地、沙丘呈絮状白—灰白浅色近平行条带线性延伸，条带间有斑点状、串珠状呈浅绿、红色、蓝色线性展布的狭窄条带。它与上者构成条带状重复纹影，其整体去向反映该地主风向。

毛乌素沙地位于鄂尔多斯高原，是我国12大沙区之一。这里水热气候和生物土壤条件尚好，已被大量改造利用成为农牧地。但是，由于利用不当，破坏原有的生态平衡，导致土壤沙化、流沙再起、固定半固定沙丘活化，而在遥感图象上呈现絮状、条带状浅色影象。它与暗色斑点状湖泊沼泽型滩地相间出现。特别是在沙地东缘的榆林一带，沙地扩张现象十分明显。影象上可以清晰地看到浅黄色—黄白色—白色的流沙侵袭超覆于黄土地貌之上，并沿部分风口呈浅色条带状深入到黄土区内较远处。

在极干旱气候的新疆塔里木河下游，河道长期断流，英苏以下河道几乎干涸，再加上人为樵采、挖药、修路等强烈破坏天然植被，使河岩裸露、风蚀加强、河床起沙、原半固定沙丘活化。位于下游原河道两侧的耕地、绿洲被新的流动沙丘所掩没，形成吹扬沙地。在9月份的假彩色合成图象上，可见辫状纹理结构的塔里木河、密集红色斑点状的河边绿洲以及阿尔干一带红色绿洲带被浅色的沙地沙丘侵吞而呈现淡棕黄荒漠草原影象色调，并见辫状古河道及弃耕农田的微弱痕迹，从而造成著名“绿色走廊”的一大缺口。

除了沙漠化外，盐渍化也是一大危害。全国范围内，因盐渍化而废弃的土地每年达1500—2250万亩。在干旱、半干旱和半湿润地区，由于气候干旱、不良灌溉或缺乏必要的排水等，均会发生盐渍化及次生盐渍化现象。黄淮海大平原的遥感图象中出现的浅色花斑状、斑状、雾状影象，常为土壤盐碱化所致。即盐碱化土壤上作物稀疏或生长受抑制，盐碱土反射率较高，影象色调变浅，因而宏观范围内可以识别。甘肃临泽绿洲，因干旱胁迫、渠系利用不当，造成绿洲西部大片盐碱化。在9、10月份假彩色遥感图象上，明显可见红色耕地背景上出现白色花斑状、雾状盐渍化影象。

赤峰—奈曼旗地区，其北部为大兴安岭东南麓剥蚀低山丘陵，南部是黄土丘陵台

地，中部为西辽河上游河谷平原及科尔沁沙地西缘。赤峰幅图象正位于三个地貌单元的交接过渡地带。西拉木沦河沿东西向断裂带切穿大兴安岭，并形成典型的宽谷，成为本区东西向大风的天然通道。地表大量的河湖相堆积物提供丰富的沙源。加上清朝后期以来，人类的过度开垦、放牧和樵采以及兴修水利、河流造库建闸，使地表径流减少，地下水位下降，加剧了干旱。这些自然和社会经济条件的变化，导致土地沙漠化、草场盖度和草质明显退化、黄土丘陵台地水土流失，河谷平原部分地区土壤次生盐渍化等。

通过遥感影象的区域宏观分析，不仅反映出该区内不同地理单元内地貌、植被、土壤等自然景观的区域差异以及空间结构变化格局所显现的水平地带性，而且清晰地显示出以上各类土地退化现象。

从北向南，该区由中温带半干旱干草原栗钙土带逐渐变为中温带暖温型半干旱（偏湿）森林草原栗褐土带、暖温带半湿润落叶阔叶林褐土带。植被、土地覆盖类型等大致可以分为三个带：以下以7月份的陆地卫星假彩色合成片为例略加说明。

1．山地森林草原-灌丛草原带

该区西北部的剥蚀低山丘陵，植被的垂直分带较明显，依次为集状红色的山地森林、褐红色山地灌丛和草甸、棕黄色典型草原。植物类别主要为中温型属种，如桦林、蒙古栎林、绣线菊、虎榛子等。土地退化现象主要表现在顺风河谷及迎风坡大片风蚀沙地及沙带的出现。它们与主导风向一致，多呈白色、黄白色密集芒刺状影纹沿河谷或多分布在河谷东岸。

2．平原草甸草原-沙地疏林草原带

中部平原为湖积冲积平原。古河道及河谷两侧耕地、柳林及草甸草原发育。前者为宽窄不一的密集状红色河曲状条带；后者呈暗棕、青红色不规则状斑块、斑纹。平原上沙化土地显棕黄色。流沙呈不均一的白—黄白色絮状条纹，其边缘模糊，有晕化现象，整体顺主导风向东西向展布。老哈河等河道及河滩地被流沙明显侵吞，而呈缩窄带状。草地出现浅斑、浅晕等退化现象。在新开河、西辽河、乌力吉木伦河汇流区，地势低下、排水不畅，在3—5月的遥感图象上盐渍化现象明显，而呈边缘较清楚的白色斑块。

3．黄土丘陵台地森林草原-灌丛草原带

黄土丘陵区尤其是迎风坡，风蚀及沟谷侵蚀作用强烈，树枝状、平行状、羽状水系发育，地形切割破碎，水土流失严重。除沟谷内有密集状红色耕地外，丘陵区主要发育红—棕红色森林草原和灌丛草原。植物类别主要为暖温型属种，如榆林、栎林、荆条、酸枣等。

二、几种典型土地覆盖类型的遥感宏观研究

在地球上不同的地理区域，在地带性、非地带性因素的影响下，自然条件表现得复杂多样。人们根据各地土地资源条件和特点，采用不同的土地利用方式，因地制宜地利用土地资源，从而形成各种不同的土地利用格局，使土地覆盖与土地利用的区域性差异十分明显。同样，在宏观遥感影象特点上，则也表现在影象结构的区域性差异。

以下为几种典型的土地覆盖与土地利用类型的遥感宏观影象分析实例。

（一）平原沼泽覆盖类型

平原沼泽分布于低平处，常成片分布。以东北三江平原沼泽为例。三江平原为黑龙江省东北部，黑龙江、松花江、乌苏里江汇合处的沼泽化冲积低平原，是我国面积最大的沼泽和沼泽化地区。平原河曲发育，河漫滩上广布古河道、牛轭湖、洼地等。夏季降水集中、蒸发量低、排水不畅，故沼泽湿地发育，约占平原面积的一半。其中重沼泽主要分布于古河道和低河漫滩上，地貌部位低，也可称低位沼泽。其地表常年积水、土质粘重，遥感图象上呈灰黑色团块状，而轻沼泽主要分布在高河漫滩及阶地上，地貌部位略高，又称高位沼泽。高位沼泽地表积水浅，生长着沼泽草甸、芦苇等茂密植被，影象上显示红色。由于土地开发，排灌系统建设的结果，部分高位沼泽地逐渐转化为农业用地，有的开辟成大型国营农场，机械化耕作。这些现代化农场，田块大（一般20—40公顷，甚至40公顷以上)、田块几何形状明显，呈大面积矩形定向排列，它与规整的排灌系统共同组成格网状影象，图象上极易辨认。农业用地和轻沼泽地在春—夏季陆地卫星假彩色合成遥感图象上呈以红色为主的色调，而重沼泽地或沼泽湿地则呈暗灰色甚至黑色。两者往往相间分布，共同构成明显的团块状结构。可以看到团块状结构是三江平原沼泽类型空间分布的一个重要特点。这是在遥感图象上宏观研究沼泽类型区域分布、组合结构的一个重要依据。

（二）干旱地区土地覆盖类型

我国西北地区是世界上典型干旱、半干旱区域之一。由于地处大陆内部，受大陆性气候影响，降水量少、蒸发量大、气候干旱。同时，在西伯利亚高压的控制和寒冷气流的侵袭下，昼夜温差很大，岩石裸露、机械崩解强烈，风力作用强，土地资源突出地表现为荒漠与绿洲组合。

由于植被覆盖率低，且地面多裸露，因而干旱地区在遥感图象上表现得尤为清晰明显，给人以一种“一览无余”的感觉。

下面就我国西北干旱地区几种主要土地覆盖类型遥感宏观影象特点进行分析。

1．沙漠

一般分布于干旱区中心部分，由砂质组成，质地较均一。由于光谱反射率较高，在遥感图象上整个地显浅色调。在十分干燥的气候条件下，受经常性风力作用，形成沙丘、沙丘链、沙垄等地貌。沙丘多呈新月型，从沙丘的排列方向可反映出风向。通常沙丘与风向夹角60°—90°，故可称横向沙丘。许多沙丘组合在一起形成复合型、新月型沙丘链。在一些地区，如风口附近，在较强风的长年作用下，并未形成沙丘，而是形成条状沙垄。沙漠中沙丘、沙丘链、沙垄的有规则排列组合成明显的几何结构，在卫星遥感影象上，表现为波状、鳞状、条状或断续条状的纹理特征，具有一定方向性，由条带方向可以推断出该区域常年风向。

2．戈壁

在干旱区的洪积扇带及洪积冲积平原上，发育深厚松散的砂质、砂砾质、砾石堆

积。它们在长年风吹蚀作用下，经风力作用的再改造，细粒物质被吹扬搬运，表面留下物质组成较粗的物质，组成砾质、砂砾质、碎石戈壁。戈壁滩上往往无植被或生长少量荒漠草甸植被。在遥感影象上呈现均一、细腻的结构，色调取决于砾石组成、均一程度、植被盖度、地面起伏以及地下水埋深状况等，但总体表现为黄灰色或青灰色调。

3．高山荒漠景观类型组合特点

山地—荒漠地带具有干旱区特有的景观组合。荒漠区气候极其干旱，渺无人烟。而高山崛起于荒漠之中，造成另一番景象。由于山地垂直分带性明显，因而形成不同的景观类型。从上向下为：

（1）高山积雪冰川带。位于雪线以上的终年积雪带。高山白雪皑皑，反射率高，影象白色，并夹有浅蓝、浅蓝灰色宽条带影纹的山谷冰川。

（2）高山荒漠带。即雪线以下的高山裸岩与岩屑的苔原带。基岩常裸露，植被覆盖率低，长有少量高山苔草与亚高山草甸。影象上呈青灰色、黄灰色调。

（3）山地森林带。山体上发育以云杉林为主的针叶林带。影象上呈连片的红色调。

（4）山地草甸草原带。包括中低山草甸草原以及山坡、山间盆地的草甸草原。这一地带草原面积大，牧草种类多，常为良好的天然牧场。在假彩色卫星遥感影象上多为均匀的浅红色、浅蓝绿色调。

从山地与沙漠之间为明显的过渡地带。山前为洪积扇—戈壁荒漠带。山地的屹立造成水热条件的重新分配，降水（雪）明显增多。夏季较丰富的水量和强烈风化作用造成的岩块岩屑是形成洪积扇的有利条件。这一类景观形态明显呈扇形，扇面上放射状水系发育，多呈束发状条纹，常见多个洪积扇相连形成宽带状的洪积扇裙或洪积扇带。正如前面所述，在风力长年作用下，细粒砂吹走，留下大片砂砾、砾石覆盖于洪积扇区，形成戈壁荒漠。其影象特点上面已述，不再重复。

荒漠绿洲带形成于洪积扇缘。这里物质成分较细，土质条件较好，地下水在这一有利地形部位溢出，因此地下水位浅，水源条件亦好，发育了绿洲。整个影象色调为红色、浅红色，明显地突出于两侧戈壁荒漠与沙漠带的中间。绿洲的开发，又可以根据田块大小、结构、布局等的不同而明显地区分出新、老垦区。田块大而规整的为新垦区，即国营农场；田块小而不规整的为老垦区，即集体农庄。从而，可以推断和研究自然条件的差异和区域开发的历史。

绿洲带的外侧一般为沙漠。水系在沙漠边逐渐消失。这一地区发育的水系多为间歇性辫状水系，河道较紊乱，两岸多发育沼泽湿地。沿河道两侧常生长胡杨林、红柳或幼杨为主的林灌丛，而密集斑点状红色、浅红色河曲型条带，如塔里木河、孔雀河、开都河、伊犁河等。因而，在干旱区往往以此来判断河道及古河道的存在。

另外，在干旱区地势低平的洼地等处，排水困难，地表积盐较重，形成盐碱滩地或干涸盐湖。在影象上呈细腻均一、纯白色、灰白色团块。

“高山积雪—高山荒漠—山地森林—山地草甸草原—洪积扇戈壁荒漠—绿洲—沙漠”这一系列景观类型构成近条带状的组合分布形式是干旱区高山—荒漠景观所特有的。我们可以在影象上通过识别这种宏观组合特点，很快就把握住区域的总体特点、景

观分布的空间规律，为进一步的研究奠定可靠的基础。

（三）黄土地区土地覆盖类型

我国黄土是世界上最典型的。它广泛分布于西北黄土高原地区。黄土质地均一、细腻、沉积层厚，呈黄色至黄红色，是含碳酸盐、多孔隙、垂直节理发育的粉砂质松散堆积物。它极易受到流水的侵蚀。由于原始基底地形的不同及后期侵蚀的缘故，黄土区基本形成"塬、梁、峁"三种地貌形态。沟谷纵横为其重要特征。沟谷的发育程度和分布特征，受区域侵蚀基准高度、降雨量和强度、地表组成物以及地面覆盖度等因素控制。树枝状水系发育十分典型。这种特征在遥感影象上也十分明显，在浅色、均匀、细腻的面状图型上，发育着清晰的树枝状纹理结构是黄土地区覆盖类型的最主要特点。

黄土地区内部，由于各处不同的地理区域，其内部特征、覆盖类型也存在着明显的区域性差异。它必将反映到遥感影象结构上。

下面以陕北地区（榆林—绥德—延长—西安）为例，进行黄土地区卫星影象综合宏观分析。区域卫星图象揭示出，构成各种环境组分、要素以及土地覆盖、土地类型的空间排列方式均存在区域差异，并沿着一定的地理方向呈规律性的变化——即存在明显的纬度地带性。从北向南，由陕北的温带干旱半干旱气候过渡到关中地区的暖温带半干旱气候，自然景观及大地覆盖类型可以大致分为五个带：

1．长城沿线以北，荒漠草原带

它位于毛乌素沙地的东南缘，呈现一派风沙地貌景观。风蚀、风积作用明显。从条纹、花纹状结构的影象中，反映了该区的盛行风向为西北风。

在9月份的陆地卫星假彩色合成图象上，沙地、沙丘多裸露状呈黄白色，荒漠上发育荒漠草原植被呈浅红、红褐色浸染状分布，并有斑点状的深兰色、蓝色甸子、湖泊。

2．延安以北，黄土高原—森林草原—灌丛草原带

黄土高原上，由于沟谷侵蚀，切割破碎。深切沟谷密集可分3—4级，呈树枝状水系，沟头呈钳状。塬面多已被沟谷切割破坏，保留不多，主要是典型梁峁黄土地貌发育区。整个色调较均一细腻，反射率较高。植被覆盖以森林草原—灌丛草原为主，呈浸染状浅橙色夹少量红色。在梁峁坡地上，因开垦为层层梯田而呈浅红色稀疏麻点状影纹。

3．延安以南，黄土高原—落叶阔叶林带

此带较延安以北地区沟谷密度小些，地面较完整些，塬、梁、峁地貌均发育、典型树枝状水系。在卫星影象上，出现片状、块状的红色、暗红色、橙色的落叶阔叶林。坡地和沟谷中，仍见麻点状浅红色农田。

4．关中盆地，河流冲洪积平原—耕作、栽培植被带

黄土塬和河流阶地等堆积地貌发育。黄土与砂砾石、亚粘土沉积。黄土台地（即当地称之为头道塬、二道塬、三道塬）阶地构成层状地形，地面平坦，微向渭河倾斜。台地阶地上分布着细密片麻状、片状红色农田，由于物质组成、地下水埋深、作物类别以及耕作方式的不同，整体色调上有差异，部分田块呈矩形规则排列。

5．秦岭山地—针阔叶混交林带

山体上，呈深红色、暗红色片状、块状林地覆盖。

（四）平原农业土地利用

1．长江下游河湖平原土地利用

这里气候温湿、雨量充沛。整个地区一个明显特点是河渠纵横交错、湖泊众多，地势低平、地下水位高，可称“水乡泽国”。由于开发历史悠久，土壤肥沃，土地利用率很高，农田精耕细作。平原上，多以水田为主，田块不大，但连片分布，排灌渠系规整。农作物除水稻外，还有小麦、油菜等，总体上作物种类比较单一。影象色调较为均一。它往往随水稻生长阶段的不同及稻田灌水情况而变化，如秧苗阶段，光谱信息主要反映水的特征而呈蓝色，但当水稻生长旺季时，由于叶绿素的富集而呈较为均一的鲜红色调。水系灌渠形成的蓝色网格状结构，加上内部小网点（小田块）构成成片较均匀色调，组成了这一地区遥感图象的宏观纹理特点。

2．干旱半干旱地区平原土地利用

以宁夏银川平原为例。与长江下游平原土地利用不同，这里气候比较干旱。耕地以水田与旱田交互出现，并有水旱轮作地。耕作方式亦较粗放。耕地田块较大，在遥感影象上清晰可辨。在6月份的陆地卫星影象上，水田蓝色与旱田作物红色相间组合构成小花斑状影象纹理特点。

此外，受灌溉条件控制，农业一般沿山前及沿河分布，呈条带状与沙漠、山前荒漠、山地相间排列。

从遥感图象宏观研究土地覆盖与土地利用的特点，是从土地覆盖、土地利用的区域性差异入手，研究它们在遥感图象上的结构、纹理特点及不同类型的区域组合格式，从而为进一步深入进行遥感图象处理，分析其内部特征，实现目标识别无疑提供了一个科学的依据。

上面的例子表明了在不同的区域类型，如干旱半干旱地区、湿润地区、山地与平原地区，土地覆盖类型与土地利用的方式均有不同，沼泽类型等也有明显的区域特点。通过对特定的区域内环境要素，如地貌、植被、土壤等的空间分异与组合方式的分析，为我们进行宏观（大尺度）遥感区域研究提供了基础。只有在对这些地学规律充分认识的基础上，才能正确理解遥感图象宏观结构特征。这一点在遥感应用的实践中已经得到了充分的证实。

参 考 文 献

〔1〕中国科学院遥感应用研究所：陆地卫星影象中国地学分析图集，科学出版社，1984年

〔2〕雍世鹏，毛赞猷等：赤峰市自然条件与草场资源遥感考察报告，内蒙古草场资源遥感应用研究，内蒙古大学出版社，1987年

〔3〕赵济等：哲里木盟土地类型和土地退化的卫星遥感影象地学分析，（同上）

〔4〕朱震达：试论中国北方农牧交错地区沙漠化土地整治的可能性和现实性，《地理科学》，第4卷，第3期，1984年

第三节　地质构造形迹

卫星遥感图象直观、综合、宏观的特点，在反映地质构造，特别是线性形迹与环形形迹的分析上，提供了大量新的地质信息。计算机图象增强处理技术以及激光全息图象的衍射分析技术的应用，使这些地质形迹得以突出增强。它客观形象地反映了区域构造特征与差异，为分析地质构造开拓了一个崭新的技术途径。

一、地质构造形迹的遥感宏观研究

（一）地质构造形迹的遥感宏观影象特征

地质构造形迹常表现为线性（Lineament or Lineare）与环形（Circular）特征。在遥感图象上，多是以色调、图形特征、水系展布、地貌形态等得到显示的。前者为平直或微弯形的线形条带形迹；后者为圆形、半圆形、椭圆形等环状条带形迹。它们常具有以下识别标志：

1．色调与形态

色调与形态包括色调线、色调带、色调界面等线、环形影象特征，是鉴别线性、环形构造的首要标志。褶皱带中地层岩性的差异，可清楚地反映出褶皱构造展布的方向。断裂构造两侧地质体、地貌体或地质现象的差异，造成其电磁波辐射的差异，从而形成不同的影象色调与形态。在很多情况下，由于断裂带本身组成物质与含水性等方面与周围地层的明显差异，使断裂线的形迹在遥感图象上更加突出，易于辨识，因而遥感图象上往往可以寻找出不少地面调查所未能发现的新的线性构造。影象上的环形形迹的出现，常常是由地层圈闭反映的背斜、向斜构造或大面积基底隆起、侵入岩体、火山、盐丘等地质现象所引起的。倘若对遥感图象进行光学一计算机图象处理，如线性反差扩展、边缘增强，特别是进行方向滤波分析对突出图象上的线性形迹效果明显；而比值分析往往对环形形迹，尤其是侵入岩体所引起的环形形迹增强效果更佳。当然，图象上的线性形迹并非与断层完全吻合，环形形迹也并非与上述的环形地质现象一致。除了影象色调与形态标志外，还须其它方面进一步证实以及影象机理的深入研究。

2．线性特征的错断

它是证明断裂构造存在的直接标志。反映了地层、岩体在断裂构造作用下所引起的相对移动，常常在错动的两侧可以发现地层的牵引变形及扭动现象或破碎带的出现。

3．特殊的地质体影象组合

指在一定的内外地质作用下，形成的一系列地质体或现象。它们以一定的规律组合在一起，组成特殊的影象结构。如断层崖、断层三角面、侵蚀构造山体、构造盆地、构造阶地、不对称谷地、叠置的扇形体以及截山切岭、脊移谷错、湖盆扭变等不正常的地貌形态。这些特有的地质地貌组合多出现在断裂构造附近。

4．水系格局及其演变

水系类型、水系密度、切割深度、平面形态及流动方向等，均受到岩性、构造等地质因

素的密切控制，特别是平面形态和摆动方向，更是直接地、灵敏地反映了地壳运动的特点。如河流平面形态变化为“S”、反“L”、反“Z”型，指示断层为左旋平移性质(反扭)；河流平面形态变化为反“S”、“L”、“Z”型，指示断层为右旋平移性质(顺扭)；放射状、环状水系指示穹状构造或岩体侵入的可能，格状水系则暗示隐伏的两组直交断层存在的可能。

5．活动特征点的线状展布

侵入岩体、火山口、河道特征点(汇流点、分流点、拐点、河道展宽或变窄点、曲流段和直线段的起止点等)、泉水出露点、地下潜水溢出带、冲洪积扇顶点、湖岸线、海岸线、岛屿等呈线状展布以及山系、平原、盆地等地貌单元的线性边界、湖泊的串珠状分布等，均指示了线性构造形迹穿过。

(二) 遥感在地质构造形迹宏观分析中的作用

1．定向、定位、定量、定性地反映地质构造形迹

遥感图象能通过色调、形态、纹理结构等较直观准确地显示出地质构造的位置、走向及相互切割关系(包括新老关系，主干、伴生、派生构造间关系)等。它不仅可以定性、定位，而且可以启示追索一些大型断裂带的走向延伸和了解其空间展布规律。这是常规方法所无法比拟的。它所提供的大量新的构造信息，也是对已有认识和成果的重要补充和修改。在此基础上，进一步分析线性、环形影象的组合特点，有助于研究与推断区域构造形成机理、力学性质、体系归属等特征。

图 3-8　小江断裂带遥感解译图

塔里木盆地柯坪地区古生界—中新生界地层组成的单斜构造，在卫星图象上呈不同色调的条带影纹和软硬相间的垅岗状单面山地貌，著名的柯坪断层北北西向将地层错开，出现明显的牵引变形和错位现象，并切开了山体南部的北东走向断层。这些地质现象在遥感图象上显得一目了然。

滇东一带的小江断裂带是我国南北向构造带、地震带的重要组成部分。在遥感影象上，它由单条或多条宽度不一的线性形迹组成，总体近南北向，延伸约数百公里（500—600公里）（图3-8）。

东川以北，断裂带呈单条粗直线北北西15°向延伸。金沙江、小江等水系直接沿断裂带发育。金沙江为深切河曲，具纵深峡谷，总体平直，西岸谷坡见断层三角面。小江为顺直河道，似刀切一般，谷坡陡，尤其西岸具十分明显的断层三角面呈直线排列，谷底较宽平。断层两侧地层、构造不一。西侧为康滇古陆的一部分，主要为前震旦系古老变质岩，多呈块集状平缓山体（平缓山脊及平缓侵蚀坡），影象色调较东侧深些；东侧为滇黔川鄂台坳中昭通断陷褶皱区，主要为古生代—中生代沉积岩（碳酸岩类为主），另有二叠纪峨嵋山玄武岩，北东向长环形褶皱及北东向断裂较发育，多为尖棱山脊及陡峻侵蚀坡，而呈北东向条带状、环带状影象。其中北东向断裂约成40°斜交而不切穿小江断裂带。巧家断陷盆地直接沿断裂破碎带发育，盆地与山体边界平直，盆地长轴方向与断裂走向一致。据地面调查，破碎带较宽，有断层牵引现象，且见破碎带侵蚀阶地。

东川以南，断裂带较为复杂，影象也不如北段一目了然。断裂带南段被分为东西两支，总体呈近南北向大致平行。由于断裂的力学性质和相应的构造地貌景观明显差异，因而图象上所显示的影象特征也截然不同。西支：从东川到通海，由线性断裂与若干窄带状断陷湖盆串连而成。它们是东湖—杨林海—阳宗海—抚仙湖—星云湖—杞麓湖等断陷湖盆以及东川、崇明断陷盆地等。湖盆直接沿断裂带发育，其长轴方向多与断裂走向一致，且边缘保留平直边界。整个西支断裂呈直线状，主要表现为张性断裂的特点。东支：从东川到红河，由一系列串连的挤压透镜体组成。断裂线绕过透镜体呈舒缓波状近南北延伸。抬升者为透镜状断块山体，宜良至华宁间尤为清晰，透镜状山体内发育密集的北东向扭断层及少量北西向断层；下降者为透镜状断陷盆地，尤以宜良盆地最为明显，此外还有寻甸、华宁、建水等断陷盆地沿断裂带分布。断裂带东侧发育北东向短轴、箱形褶曲及北东向断层。嵩明盆地及阳宗海南端分别有两条北东向断层斜穿小江断裂带而过，并形成了北东向现代隆起带，构成了分水岭。分水岭以北的河流均往北流归入金沙江水系；分水岭以南的河流均往南和东南流归入珠江水系之中，湖盆也有相应的迁移特点。

过去认为小江断裂带南段东西支在华宁附近汇合后，再继续向南延，可能达建水北部地区。有的也认为整个断裂向南过个旧，穿北西向红河活动断裂带，与越南的奠边府断裂相连。然而，从目前遥感图象中，既难看出东西支归并的迹象，也难找到过红河南延的痕迹。

对郯庐大断裂的认识也是一个突出的例子。这在第一章中已有论述，不再重复。

这里应该说明的是，一定的几何图形一般地反映构造成生时的力学性质。以断裂构

造为例，平直线往往代表扭性断裂，并常伴有牵引；舒缓波状曲线往往反映压性断裂；锯齿状曲线往往反映张性断裂；而雁列式、入字型交叉，又反映压扭性断裂特征。但是因受后期的改造活动，一定的几何图形又不一定能确切地反映活动断裂的力学性质，还必须结合其所处的地质环境、分析区域应力场、局部应力场、断裂两盘的错动关系及其它的宏观标志，方能得出正确的结论。

2．对隐伏褶皱与断裂构造的研究

这些隐伏构造被新生代松散堆积层所覆盖。通过地表岩性、构造地貌、第四纪层含水程度、水系特征、植物生态以及地球物理、地球化学等信息的传递，在遥感影象上显示出它们隐约的形迹，以至于有可能认别各种隐伏构造。

在遥感影象图上，可以见到纵贯华北平原有两条几乎平行隐约出现的北西向线性形迹，形迹平直而连续。它控制着沿线的构造地貌、水系的发育。

西边一条为大同—藁城—聊城—济宁—徐州—南京—溧水断裂带。其北段在平型关附近将太行山、五台山错开，代县盆地也被扭动变形。此北西向断裂与北东向太行山前大断裂交切并成地垒状隆起，构成浑河与壶流河、沙河与唐河的分水岭。断裂进入华北平原后被深厚的第四纪覆盖层所掩盖，但在较单调而均匀的浅色调背景下，仍可见到断续北西向蓝灰色线性影象痕迹。滹沱河穿过这条线性形迹上的藁城后，流向由南东突转为北东方向；滏阳河上游的诸条河流原由南向北流，穿过这条线性形迹上的宁晋—宁晋泊一带流向突转向北东方向，鲁运河基本沿这条线性形迹开挖；黄河过线性形迹后，堤距明显缩小，水面变窄，构成河型上的突变点。线性形迹过黄河往东南方向便构成鲁中、鲁东低山丘陵与华北平原两个地貌单元的北西向平直界线；东平湖—蜀山湖—南四湖沿这条断裂线串珠状线性展布，湖泊的长轴方向与断裂线走向一致。断裂进入苏皖一带，影象形迹不大明显，仅隐约出现北西向的线性痕迹。此线以西主要为北东向丘陵地，构成淮河与长江的分水岭，以东为苏北河湖平原（包括洪泽湖、高邮湖和里下河地区等）。长江通过线性形迹上的南京后，流向从北北东突转为近东西方向，秦淮河基本沿线性形迹发育，线性形迹直到溧水一带。这条北西向断裂控制着苏皖一带的新第三纪和第四纪玄武岩喷发、苏北平原的西部边界以及地震的发育，是个较新的活动断裂构造。这在地质、地震界得以证实。

东边一条经通县、天津，过鲁中山地延至苏北的盐城、南通一带。在遥感图象上，它有几处较为明显，尤其是通县—天津的隐伏段。由于断裂带内浅层地下水丰富，造成影象上宽约5公里的暗色平直条带。北运河、北京排污河沿此条带开挖。永定河的古漯水故道也沿此条带流过。

成都平原上以灌县为顶点的冲积扇平原，由西北向东南方向发育。这里是我国典型的水田农业区和著名的都江堰水利工程。在遥感图象上，可以发现横切扇体有两条几乎平行的北东向线性形迹。尽管地表松散沉积物的物质组成并无明显差异，但由于断裂带内外含水程度存在明显差异，影响到土壤的发育程度、土壤湿度等，致使地面植被的长势等均有差异。这就是说，地下一定深度的地质信息，通过水、土、植被这些地表信息传递，而在遥感图象上以不同的色调显示出来。

塔里木、柴达木等盆地的周边有不少与隐伏构造有关的环形影象异常，并常伴有河流的绕流现象。它们多是些穹窿构造或短轴背斜、向斜构造，地表常被松散堆积物所覆盖。有的已被物探等资料所证实。这些环形隐伏形迹，为勘探油气田，寻找地下水，提供了新的重要线索。

3. 有利于新构造运动及地震的研究

新构造运动不仅可通过地质、地貌、水系等形态特征有所反映，而且活化断裂、地震在其孕育过程中总伴有一系列复杂的地球物理现象的异常，如地热、地形变、地磁、地下水位及各种电磁波的辐射等异常，形成遥感影象上的目标异常区或地带。另一方面，对影象上线性、环形构造或隐伏构造及其组合格局的分析，也可促进地壳形变及地震活动背景的研究。

4. 全球性研究

此研究为全球构造、板块学说提供了直观的论证。如沿雅鲁藏布江缝合线、横断山区安宁河大裂谷、郯庐深大断裂带等。它们所显示的线性形迹的规模和组合对欧亚板块和印度板块的相对运动、太平洋西岸岛弧的形成，均提供不少新的认识（详见“全球性研究”一节）。

二、我国基本构造格局的遥感地学分析

我国大陆受南、北板块的挤压（即欧亚板块与印度板块的碰撞、缝合过程），主应力为南北向压应力。同时，受地球自转（北半球）顺时针扭动和大陆飘移、海底扩张、太平洋板块的俯冲作用的共同影响下，形成扭动剪切面，主要表现为交叉型或X型的扭裂。在这种应力的作用下，我国大陆被分割成为三个大的基本地块，即西域地块、西藏地块、华夏地块。我国大陆地块就是由这些次一级的地块（断块Fault Block）相互镶嵌（Mosaic）而成。各地块间接合部位，多为深大断裂带、缝合线或强烈褶皱带。这里是地壳薄弱地带，新构造运动及地震活动最为强烈。

以纵贯我国大陆的南北地震带为例：

南北地震带位于约东径104°左右。从贺兰山（北北东）—六盘山（北北西）—秦岭西段天水—武都—文县(北北东)—龙门山(北东)—川西一带(北北东)—安宁河—滇东一带(北东)，呈巨型锯齿状条带。在这个带上，新构造运动及地震活动强烈，为新构造强烈活动带、地震带以及突出的地貌阶梯带（以西为高山、山原，以东为中山、高原，是我国的第一地貌阶梯带）。同时，地球物理勘探证实，这里具有很陡的重力梯度，为重力负异常带。在此带的北段主要具有深源构造带的特点，而南段主要具有缝合线的特点。在卫星遥感图象上，它表现为影象色调、地貌形态的明显差异以及一系列线性构造形迹的出现，构成了一条南北延伸近1800公里的巨型线性影象条带。从北到南简述如下：

南北构造带北端的贺兰山为阿拉善与鄂尔多斯高原间狭长而突出的山系。影象上表现为一组北北东向的线性断裂带和地形、地貌上的显著差异。山体两侧明显不对称，西侧较缓，东侧地势陡峻、切割强烈、V形河谷发育。此褶皱断块山的东侧为宁夏盆地（即银川盆地），两者地形对照大。断裂带正是两个地貌单元的线形边界。过北西西向祁

连山大断裂带后，此构造带在六盘山东侧则表现为北北西向的线性形迹。形迹平直，把六盘山与东侧的黄土高原截然分开。受断裂带影响，黄河支流的清水河及渭河支流的千山河等均呈北北西向顺直河道。此外，沿六盘山东侧大断裂带还发育数个小盆地，它们基本上呈串珠状线性展布。

构造带往南过 EW 向秦岭大断裂带后，变得较为复杂，影象也不够明显。在天水—武都—文县一带，北北东、北东、北北西、东西向几组线性构造较为明显。它们相互交错而构成总体上北北东向的雁行排列的小型断陷盆地。这里是青藏高原的边陲地带。从地貌上看，其东侧均为 1500 米以下的山地，西侧多为 2000 米以上的群山，形成较明显的阶梯状图型。到了川西北一带，构造带又表现为北东向的龙门山右旋剪切深断裂带，构成青藏高原的东南边界。龙门山山前断裂平直而连续，跨断裂的河谷均扭动变形，显示右旋平移性质。此断裂构成四川盆地与西侧山地强烈的对照，是龙门山褶皱与四川拗陷的控制边界。岷江在龙门山呈高山峡谷、水势湍急，但一出龙门山口则呈网状撒开形成漫流，显著的反映了地势的急剧变化。

南北构造带的南端为安宁河—滇东一带，也是青藏高原、横断山脉与四川盆地、云贵高原的地貌交接地段。河流由北向南流，山脉南北延伸。在四川境内为南北向的安宁河断裂带。它由 3—6 条断面陡倾的南北向断裂组成。北起石棉附近，顺安宁河经冕宁、西昌、德昌延伸到云南会理以南。断裂带规模巨大、影象清晰、断层崖发育良好，构成安宁河地堑谷地和西昌断陷盆地以及上游线性展布的透镜状式褶皱山地等构造地貌景观。在滇东一带为小江断裂带。它由多条近南北向的线性断裂及一系列串珠状断陷盆地和湖泊组成（前面已有论述，不再重复)。

南北构造带、地震带，把我国大陆分为东、西不同的两大部分。西部：为隆起区，地壳厚，约 50—70 公里。在南北压应力作用下，形成北西西、北东东两组 X 型交叉剪切面，对着挤压方向的交角为钝角约 110°—130°，长对角线为东西向。因而，西部主要构造线为北西西、北东东以及为牵就这两者而形成的近东西向构造。它们将地块分割成长轴近东西向的菱形地块，如塔里木盆地、柴达木盆地、准噶尔盆地、阿拉善高原（鄂尔多斯西部）等。东部：为凹陷部分，地壳薄，约 30—40 公里。在南北压应力作用下，形成北北东、北北西向两组 X 型交叉剪切面，对着挤压方向的交角为锐角约 50°—70°，长对角线为近南北向。因而，东部主要构造线为北北东、北北西以及为牵就这两者而形成的近南北向构造。同时因受太平洋板块的俯冲作用，还形成北东、北西向构造线。它们将地块分割成长轴近南北向的不规则四边形、菱形小地块，如华北平原及平原内的次一级小地块、东北平原、四川盆地、云贵高原等。

由此可见，由于各个地块的地壳厚度、形状、结构不同，强度不一，在南北板块挤压下，其构造运动性质、构造线方向以及地貌表现形式均有很大差异。它构成我国高山大川的骨架，勾绘出高原、盆地的几何轮廓，并影响着地壳运动的幅度等。其活动模式很有规律，空间分布也各具特色。这不仅在遥感影象上清晰地表现出来，而且也有助于我们对遥感成象机理的研究。

下面把几个地块的主要特点分述如下：

（一）西域地块（又称西域断块）

西域地块，位于我国西北部，包括新疆地区以及甘肃、青海、内蒙部分地区。其东缘以南北构造带为界，南缘以昆仑山—阿尔金山深大断裂带为界。西域地块属于古亚洲构造体系。差异升降运动明显，以上升为主、盆地相对下降。莫霍面深度山区为50—60公里，盆地小于50公里。山地与盆地间往往以深大断裂为界，并伴有褶皱。即条形褶皱巾，夹有相对稳定的地块。断裂构造的总体展布基本上与各大山系走向一致。以北西西向为主，北东东、东西向次之。新疆地区，尤其阿尔金山、北山、天山等地出现北西西、北东东向交叉断裂，而呈醒目的菱形构造。我国西部大型中、新生代陆相沉积盆地如塔里木、准噶尔、柴达木等均分布于此。

由于受挤压与剪切力的共同作用，断裂多为左旋剪切性质。如阿尔金深大断裂带，北东东向延伸1500公里以上。卫星图象上，山区与盆地界线显示清晰，色调差异明显，其中西部连续性好、东部较差，总的呈现清晰、平直的浅色条带，数条水系被断裂错动，显示该断裂具左旋平移性质。北西西向的祁连山山前深大断裂带，形成一系列巨大的入字型褶皱和巨型冲断裂，也表现出明显的左旋剪切性质。近东西向的天山活动断裂带，部分地段线性平直、影象清晰，断层崖、断层三角面较发育，并可见跨断裂的河流呈“S”形扭动，反映了断裂的左旋平移错动。

（二）西藏地块（又称西藏断块）

西藏地块，即我国青藏高原一带。属于特提斯（地中海）—喜马拉雅构造体系。由于印度板块从南向北俯冲，受北面冈瓦纳大陆的阻挡，而形成强大的向北（即北北东）向的压应力，使青藏高原总体由南西向北东挤压移动，因而形成以向北东凸出的弧形断裂系为主导的构造体系，其中最著名的有金沙江、红河、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江断裂带。这里的活动断裂主要为近东西和近南北向断裂。它们不仅控制了各大山系地形和地貌的发育、水系格局，且构成该区的主要构造格架。

高原的周边均有巨大的高角度冲断层，且断层面向高原内部倾斜形成楔形隆起。整体上升的幅度大、速度快。隆起过程中，引起压性、压扭性断裂和在高原上产生一系列的山岭（隆起带），以及串珠状盆地和湖泊（断陷带）。南缘的雅鲁藏布江深大断裂带，总体走向近东西向，向东延至米林附近转为北东东向延伸。断裂带构造复杂，由数条近于平行的活动断裂复合而成。雅鲁藏布江沿断裂谷发育，影象清晰。在日喀则附近，断裂明显分为两支，北支控制雅鲁藏布江河谷发育；南支控制新生代超基性岩的侵入，卫星图象上可见圆形、椭圆形的暗色图斑呈串珠状线性排列。据地面调查，沿断裂带断续出露蛇绿岩套，并有高压低温变质带（可见蓝闪石片岩、榴辉岩、硬玉等高压低温相岩石与矿物组合）；断裂带北侧为冈底斯花岗岩带的东延部分，为低压高温变质带（可见红柱石—硅线石片岩等高温低压相岩石）。这说明在挤压变形过程中，发生变质及局部花岗岩化的过程，同时也表明此断裂带具有缝合线的特征。

（三）华夏地块（又称华夏断块）

华夏地块，主要指南北构造带以东的中国大陆。属于滨太平洋构造体系。整个构造格局不同于前两者，反映了太平洋板块与欧亚板块的相互作用。

华夏地块以北东、北北东向构造为主导。其中两条最主要的北北东向断裂带为大兴安岭—太行山—巫山—武陵山断裂带（相当于第二地貌阶梯线）以及郯庐深大断裂带。它们把华夏地块分割为东西三部分，地形上也形成明显的阶梯状。太行山断裂带的北西侧，地形差异隆起，形成高原、中山；两断裂间，主要为深断陷和拗陷，形成东北、华北大平原和云梦盆地、（包 括 洞庭湖、江汉平原等）；郯庐断裂带的东南侧，主要为断块隆起形成长白山地、山东丘陵山地以及东南沿海丘陵。

除以上北东、北北东向断裂构造外，还有近东西向断裂带、少量近南北向断裂构造以及北西、北北西向活动断裂交叉。其中最主要的近东西向断裂褶皱带为阴山—燕山带和秦岭—大别山带。它们把华夏地块从北向南分为东北、华北、华南三大块。

由于地壳的物质组成、结构、性状不同，厚度有异 以 秦 岭 —大别山—宁镇山脉为界，以北的地壳莫霍面平均约 41 公里，地壳密度约 2.82 克/立方厘米；以 南 的地壳莫霍面平均约 32 公里，地壳密度约 2.97 克/立方厘米，因而华夏地块各次一级断块间的地质构造、地貌表现也各具特色。

1．华北地区

华北断块基底以太古—中元古代一套中深变质的片麻岩系为主。这种结晶变质基底硬度大（刚性大），易脆性变形，利于断裂构造发育。从三叠纪以来构 造 运 动 趋 于 活跃，断块差异运动明显。以北东、北北东向长而直的活动断裂为主要特点，它们常被北西向活动断裂所切割，并可见少量近南北、近东西向断裂。

华北断块以太行山山前断裂为界（即北北东向自河南武修—邯郸—石家庄—保定—转向北东向—燕山—转为东西向），分为东部下降为主的华北平原和西部以上升为 主 的陕西高原。高差约 1000—2000 米，形成鲜明的地形对照。河流出山口，水流散开、河道转向，且山前冲洪积扇发育，扇顶连线较为平直。太行山山前断裂由于受到其它方向断裂构造的切割、干扰，使构造变得复杂，各次级断块上升幅度不一，故断裂呈折线状，部分地段保留断层三角面。

华北平原被断裂进一步切割为复杂的“豆腐块”状。同一个凹陷中有相对的隆起和拗陷，沉积层覆盖厚度变化较大，但地貌表现上差异不明显，因而呈隐性特色。但从地下水分布与埋深特点、地表物质组成、河流及古河道的发育趋势等所反映出的色调与纹理结构的微弱差异，并借助于地学常规方法的支持，进行遥感地学综合分析，更有助于对区域构造格局的认识。

陕西高原，包括鄂尔多斯高原和山西高原。因断裂构造发育形成许多地堑与断陷盆地，如银川地堑、河套地堑、汾渭地堑等。

以汾渭地堑为例（图 3-9）。

它是由一系列断陷盆地组成。从北向南分别为：延庆—怀来盆地、蔚广盆地（蔚县、

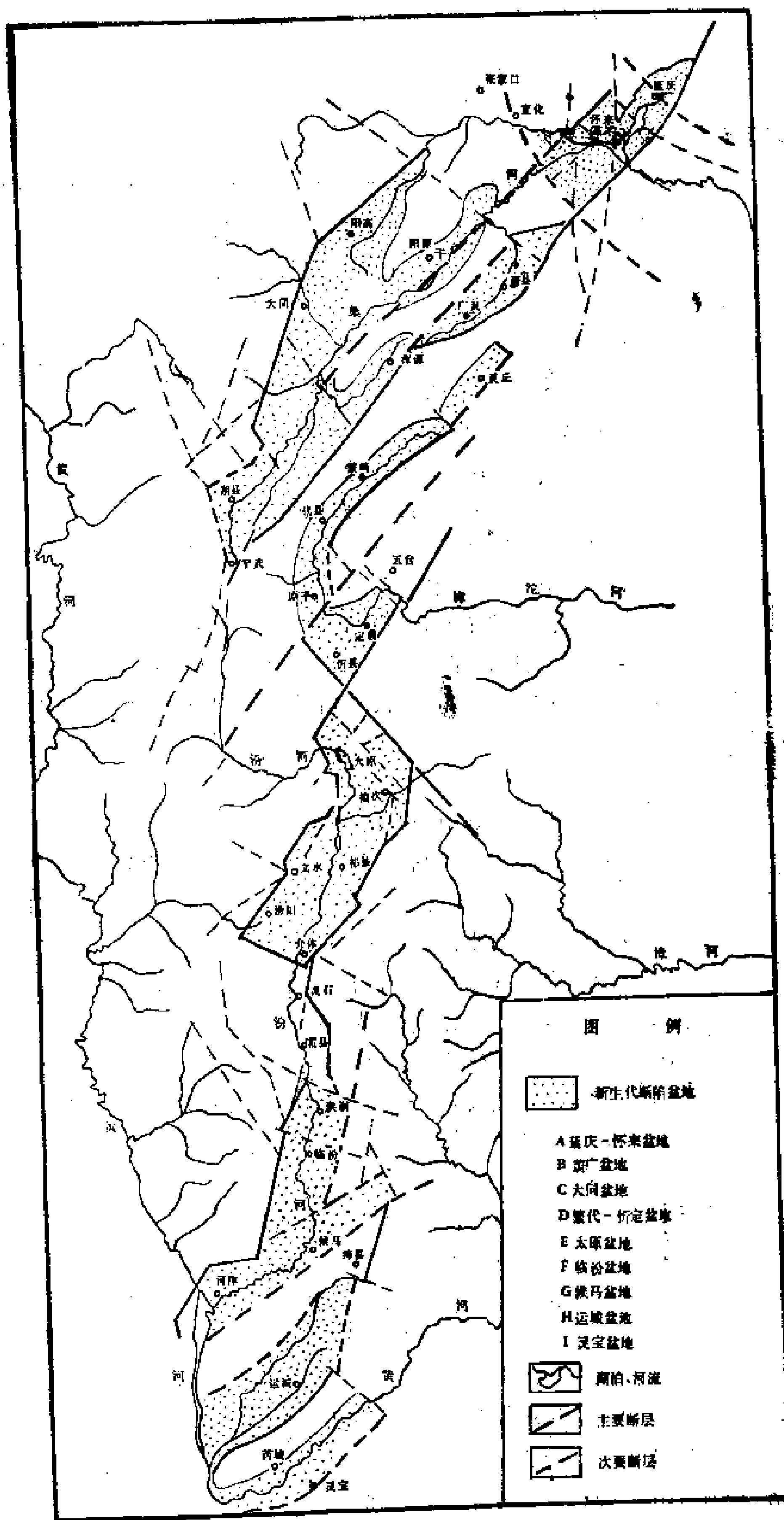


图 3-9 汾河地堑遥感解译图

广灵)、大同盆地、繁代—忻定盆地（繁峙、代县、忻县、定襄)、太原盆地、临汾盆地、侯马盆地、运城盆地、灵宝盆地、西安盆地等。它们总体呈大致北东—南西向雁行式排列，延伸近800公里，断距达数千米(如临汾盆地西缘的罗云断裂断距达1000米、东缘的霍山断裂断距达3000米)。汾渭地堑在山西部分，称之为汾河地堑，又有人称之为山西多字型构造断裂带。

盆地间为隆起所分隔。盆地周围受断裂控制。断裂主要有北东、北北东向以及较活跃的北西向新断裂，还有北东东向。它们相互交叉，并控制着断陷盆地的边界。其中北东、北北东向断裂多控制断陷盆地的东、西边界；北西、北东东向断裂多控制断陷盆地的南、北边界。断裂主要表现为高角度的正断层，即纵张裂面发生陷落的拉张性特点。但部分断裂又同时表现出其压性、压扭性的特点，即断裂带有挤压扭动现象，具斜列式特征，并有入字形断裂、S形扭动，甚至有倒转褶皱（如临汾盆地西缘罗云山龙门山构造带)等。这反映出该区部分断裂性质具有“先挤压性后张裂性”的特点。由于断块运动的差异性，盆地多为单倾斜断陷盆地，即不对称的地堑，沉降幅度南深北浅的特征，河流多偏向东南一侧（如怀来、代县、太原、运城、渭河盆地等)。断陷盆地的形态主要为“S”形。盆地边缘界线较平直，影象清晰，普遍发育断层三角面及陡崖，常构成阴影而呈暗色条带，在上升幅度大的一侧尤为明显，如繁代盆地南缘五台山北麓等。此外，盆地边缘还可见基座阶地、夷平面、次一级地垒、地堑等构造地貌景观。

断层的差异活动性大，还表现在同一断裂上。如华山大断裂，南盘一直处于强烈上升，形成中山；北盘以华阴—潼关间为界，东侧中更新世后转为上升，形成相对高度达数百米的黄土塬，地表起伏不平，沟谷深切，而西侧一直处于下降过程，地势平坦，地表全新统覆盖。

2．东北地区

东北地区为古生代海西褶皱带。第四纪以来构造运动趋于稳定。除郯庐断裂穿过的地带以外，新构造运动不强烈，主要为缓慢隆起和下降，活动性较差，差异运动不甚明显。地貌表现为老年期山地、山原及河谷平原。松辽盆地，第四系一般厚30—40米。山势浑圆、地形起伏小，河流多树枝状水系。

活动断裂为北东、北北东向，规模大，影象清晰，多为不同构造单元或地貌单元分界线，并控制了河流及湖泊的发育，为本区主体构造方向。北西向断裂一般规模不大，但形态清晰，多控制现代河流及地貌发育。有的沿断裂带尚分布有第四纪玄武岩和火山活动，具明显活动性。如北东向的伊兰—伊通活动断裂，全长1000多公里，过黑龙江进苏联境内。在下辽河盆地内，影象为暗色富水带，控制了太子河的流向；于铁岭以北进入山区，影象显示为平直的沟谷及山区与盆地的线性边界。

3．华南地区

华南地区，在喜山运动时大面积隆起，仅洞庭湖—江汉平原等地有较厚的上第三系和第四系沉积，地壳较稳定，断块差异运动不明显，构造运动较华北微弱，但较东北稍强。华南地区的基底主要为变质程度不深的碎屑岩系。其上有很厚的沉积盖层（中、新生代)，柔性大，多表现为可塑性褶皱变形，尤以西部梳状、箱状褶曲最为典型。全区

主要分布北东东、北东、北北东向断裂，沿海地区还广泛发育着几乎等距离分布的北西向断裂，构造轮廓较为复杂。

东南沿海，新构造运动较强烈，新生代有玄武岩喷溢。它与喜山运动的多期侵入岩体构成大大小小多个环形形迹。还见有三条近于平行的北东-北北东向断裂：长乐—诏安左旋平移断裂、政和—海丰压扭性逆断层、河源—邵武断裂（在闽为逆断层，在粤为平移断层）。它们延伸长、宽度大、雁行排列、影象特征清晰、活动断裂标志明显，它们与北西向断裂交汇处多为强震集中区。

参考文献

〔1〕张世良：根据卫星影象信息分析中国活动断裂及其地震的关系，《遥感地质》第3期，1985年

〔2〕石世民等：小江断裂带的遥感影象分析研究，《遥感地质》，第3期，1985年

〔3〕黄相宁等：华北及其邻近地区北北西向断裂带初探，《科学通报》，第9期，1986年

〔4〕国家地震局地震地质所：中国活动构造典型卫星影象集，地震出版社，1982年

〔5〕中国科学院遥感应用研究所：陆地卫星影象中国地学分析图集，科学出版社，1984年

〔6〕赵树明：遥感图象中圆形影象对应的地物成因类型探讨，《遥感地质》，第3期，1988年

第四节　自然历史变迁

遥感研究长周期的自然历史变迁，主要依据它在遥感图象上所遗留下来的"痕迹"识别。因为各种研究对象（河流、湖泊、海岸、城市等自然和社会环境因子）均有其特定的发生发展规律，有其区别于其它对象的特性，如物质组成不同、本身的物理化学性质不同、光谱特征不同、空间分布及组合特征不同等。尽管经历了漫长的自然历史过程，发生了很大的变化。但是，不少特征仍能通过地表水分条件、植被生长状况、土地利用方式、地貌结构和组合关系等得以不同程度的保留。在遥感图象上，它们则以色调、阴影、形态、大小、纹理结构等的差异反映出来。这便构成了遥感识别它们的图象解译标志，从而有可能从遥感图象上勾绘出它们的变迁轨迹。人们通过寻找这些图象标志及它们与周围环境因子的不同之处，来追索它们的分布、变化范围和演变规律，并结合它们的时空变化规律（在空间组合上的规律性），进一步从宏观上恢复当时当地的古地理环境。这种自然历史变迁"痕迹"的识别，往往正是在宏观范围内，方能得到更好的体现。

一个地区的自然历史变迁与该地的水域演变有着十分密切的联系。水域演变主要包括水系变迁、湖泊洼淀的变化以及海岸线的演变等，而遥感研究自然历史变迁中，尤以研究水域的演变最为突出，效果明显。这是因为，一来水域面积大，变化快、形态独特；

二来水的信息突出，水的光谱反射率特别低，除在蓝绿波段有少许反射外，其余波段几乎均为吸收，特别是在红外波段水表现为强烈吸收，因而在遥感图象上水总显示暗色色调；三来水域演变后多能在原地保留一定湿度和形态，也就是“痕迹”较为明显。因而，在遥感图象上，图斑较清晰、信息丰富，较易辨别。正因为遥感图象上能详细地记录下水域的分布形态，并且方位准确、形象逼真，因而有利于水域演变的定位定量研究，可以起到在宏观上“再现”演变模式的作用，为水域的动态研究提供了新手段和新途径。同时，这些水域的频繁而复杂的变迁过程以及由它而引出的古地理环境研究和演变规律的探索，将有助于深刻地认识现代自然环境以及社会经济环境。可见，研究它有着一定的理论和实践意义。

一、遥感分析方法

（一）遥感资料的选择

遥感研究自然历史变迁，既然是“痕迹”识别，影象就往往并不十分清晰，那么遥感资料的选择便显得十分重要。这里遥感资料的选择包括遥感图象空间分辨率、波谱分辨率、时间分辨率的选择。

所谓空间分辨率的选择，是指多片种的选择，即陆地卫星MSS图象、TM图象、SPOT图象、雷达图象，并选用部分典型地区的航空象片等。运用不同遥感信息各自的特点，从不同角度来突出所需的遥感信息。

所谓波谱分辨率的选择，是指尽量选用最能突出研究对象的波段及波段组合。这里研究对象主要是水及有关信息，自然应选择那些对水体、土壤含水性等与水有关信息反映尤为明显的波段，如近红外波段以及由它组合而成的彩红外图象、假彩色合成图象等。

所谓时间分辨率的选择，主要有两层涵义。第一是指，利用地物的光谱响应随时间的变化而变化的特点，选用有特定意义的时间所获取的遥感信息，来增加地物与周围物体间的对比度，即拉开它与背景色调的差异，从而提高图象分析识别能力。如，对于古河道识别，要充分利用水情的变化，即汛期图象。汛期图象反映“水”的信息突出，地表水、地下水发育，便于区分现代河渠、古河道及低平洼地等。同时，河流汛期即为雨季，正值作物生长季节，沿古河道发育的植被尤为突出，利于古河道的识别。第二是指，在以上选准时相作为典型图象进行解译的基础上，充分利用遥感图象多时相的特点，尽量多收集该地区各种不同时相的图象，以充分反映出一个地区自然景观年变化和季节变化的特点。在多时相图象的对比分析中，利用这些信息的时间差和季相特点，往往可以得到单一时段、单一图象所不能给予的信息，从而提高遥感图象的解象率。同时，不同时相的遥感信息，组成一定的时间序列，能够反映出一定时段内的信息变化，进行遥感动态监测。

（二）遥感方法的综合

在研究中，要充分运用目视判读—光学图象处理—计算机数字图象处理等多种方法，以及运用多时相、多片种遥感信息之间、遥感信息与非遥感信息之间的信息复合方法，以利于专题信息的增强和特征信息的提取。

（三）遥感图象解译标志的建立

以下主要以黄淮海平原地区为例加以说明。

1．古河道解译标志

平原河流无论是曲流还是游荡性河流等均表现为泥沙含量较大、河流比降小、堆积作用旺盛、河流改道迁徙较为频繁等特点，因而在平原上留下许多古河流地貌的形迹。如废弃河床、牛轭湖，河道两侧自然堤、决口扇、泛滥平原以及经风改造后的风沙地，河曲凸岸的崇岗、迂回扇等。这些微地貌及地貌组合是我们在遥感图象上识别古河道的主要标志。古河道又可分为古河床高地与古河床低地两类。

（1）古河床高地

黄淮海平原的几大水系，均为多泥沙河流。河流出山口进入平原后，携带的泥沙大量沉积，抬高河床，而呈地上河。这些河流一旦被废弃，则在地表上留下垅状高地。这类河流一般自然堤较发育，河道较顺直，河道两侧常发育决口扇和背河洼地。由于河流的侧渗作用，河道两侧普遍严重盐渍化，植被稀少，呈浅色条带，易于辨认。

古河床高地从物质组成上又可分为沙质与壤质两种。

①沙质古河床高地

沙质古河床高地，多分布于平原的上半部，或冲洪积扇扇面上，沙质堆积旺盛，而呈条带状沙垅。有些地段往往因沙质太重难以利用，裸露地面呈浅色沙带，部分被风沙进一步改造而呈岗状风沙地。如永定河新冲积扇上的古河道呈白色辫状条纹，滦河冲洪积扇上的古河道呈白色辐射状、指状沙带等。

沙质古河床高地主要由细砂或粉细砂组成。由于地势高（高出两侧1—5米）、地下水位低（埋深2—5米）、水质好，常有村庄座落，并种植果树或花生等油料作物。假彩色遥感图象上，浅色条带中镶嵌有浅红色斑块。如黄河在武陟经新乡、滑县、濮阳、清丰、冠县、夏津的西汉故道，黄河明清故道高出两侧8—10米，由西向东从苏北入黄海，流路清晰，西侧发育一系列决口扇。

②壤质古河床高地

壤质古河床高地，多分布于平原的下半部，河流下游处。主要由粉砂、亚砂组成。地势较高（高出两侧平地1—3米）、地下水位较低（埋深2—4米）、水源补给充沛、水质好、土质好，故多已开垦成农田或树木生长。冬季遥感图象上仍为浅色条带；夏秋作物生长季节，在假彩色合成图象上，多为红色、浅红色条带。如天津南部海河古河道，黄河三角洲上的顺江沟—车子沟古河道，滹沱河洪冲积扇上的斯洨水古河道等。

（2）古河床低地

古河床低地为槽状、河曲形洼地，低于两侧平地1—3米，地下水位较高（埋藏浅1—2米），河床湿度较大，图象上呈暗灰色（黑白图象）或蓝灰、暗青色（假彩色图象）。如永定河的清河故道、漯水故道均为宽浅的槽状洼地，洼地内部分积水而呈湖沼地，部分中轻度盐渍化使界线模糊。此类河一般河曲较发育、断续潴水而呈积水的废弃河曲或牛轭湖，常被分段利用于现代河渠，植被发育较差。如黄河三角洲的神仙沟、刁口河故道，影象上可以根据其基本连续的暗色河曲影纹加以识别。

（3）浅埋古河道

古河道被后期沉积物浅埋，为地下浅层淡水富集带。可利用河道内外，水、土、植被的差异加以辨别。

此外，古河道两侧常发育崇岗、迂回扇，尽管被后期人为改造，但根据农田的弧形布局，仍可恢复迂回扇辐散与辐合形态等，推测古河道的存在及不同时期的河道流路。

2．古海岸线解译标志

（1）古海岸河口地貌

渤海湾及黄海沿岸除山东半岛沿岸属于港湾型弯曲海岸外，其它均属于平原型较为平直海岸，主要由一系列三角洲、泻湖、沙堤等海岸河口地貌组成。这些地貌组合在遥感图象上，以其独特形态、大小、结构形成鲜明特征显示出来，易于识别。

①堤状堆积体

在海岸水动力——波浪、潮汐、沿岸流的共同作用下，在海岸带往往形成各种堤状堆积体。如，滦河口的海岸沙丘、沿岸堤，渤海湾西岸的贝壳堤、贝壳沙堤，苏北沿海的海岸沙堤、水下沙堤等。尽管它们在位置、形态、规模、物质组成等方面有些差异。但是，它们都不外乎是主要由海滩上的砂砾—粗砂—细砂等较粗沉积物以及贝壳—贝壳碎片—贝壳碎屑等生物碎屑组成，其本身粒粗、色浅，具有较高的光谱反射率，在图象上呈浅色条带。如渤海湾西岸的Ⅰ、Ⅱ贝壳堤，苏北沿岸的海岸沙堤等。同时，它们又因水质好、地势高、地下水位低，因而村庄、堤坝、公路多建于堤上（如，歧口—上古林贝壳堤上修建国防公路，苏北潘冈—上冈海岸沙堤上修筑了著名的范公堤和主干公路等），并种植果树或种植棉花、花生等经济作物，因而在遥感图象上，可见较浅色条带背景上有局部的色调变化。这些堤状堆积体即使遭后期人为破坏，但仍可以根据它与两侧地貌、物质成分、含水性、植物类别、土地利用的差异而加以辨别。堤间低地多由粉砂、粉砂质粘土及粘土组成，夹少量有机质沉积，持水性较好、地下水位较高，土壤盐渍化也较重，而多呈低平洼地。在遥感图象上色调较暗。除沿海开辟为盐田外，一般均已垦植为农田，南方多种水稻，北方除局部种植水稻外，多种玉米、高粱等较耐盐碱的大田作物。它们与堤状堆积体本身形成鲜明的对照。如渤海湾西岸及苏北沿岸等。这种与现代岸线基本平行的，不同宽度的明暗条带相互衬托，也有助于我们对堤状体的识别。

②滨海湖沼洼地

在平原海岸的海滨地带，往往发育着一系列成因类型不一的湖沼洼地，如泻湖、泻

湖洼地、滨海沼泽洼地、河口沼泽洼地、河间洼地等。它们往往成片状、带状分布而呈洼地群，如渤海湾西北岸的草泊洼—油葫芦洼—黄庄洼—里自沽洼—大黄堡洼群，西岸的北大港—南大港洼群，莱州湾南岸的清水泊—巨淀湖—别画湖，苏北沿岸的洪泽湖—高邮湖群以及里下河地区等。这些古滨海洼地现在多已被人为改造利用，有的放淤、蓄洪、水库化、盐田化，有的被围垦造田，原先的洼地常不复存在。但是，由于它们为泻湖相、湖沼相沉积，由含有机质的暗色亚粘土、粘土组成，饱水、缺氧而局部淤泥化、沼泽化、因而在图象上仍保留为不规则的暗色斑块。

③滨海扇形地

滨海地区还发育着各种类型的扇形地，如洪冲积扇、冲积扇、三角洲等。它们形态独特，多呈扇形，扇缘有洼地，扇面有散状辫伏水系或沙带，在遥感图象上较易识别。如滦河冲积扇和多期三角洲，黄河冲积扇和多期三角洲，永定河冲积扇，鲁中南山区丘陵北麓的洪积—冲积扇带，太行山东麓一系列的洪积—冲积扇等。

除了三角洲的发育与海岸的形成有直接关系外，部分扇形体也与古海岸线有一定的联系。这是因为冰后期气候转暖，海面上升，出现全球性的全新世海侵。这次海侵在整个黄淮海东部平原波及范围较广，在渤海湾北岸、西北岸、莱州湾南岸等均直达山前扇形体的外缘。也就是说，海侵时，部分扇形体阻挡了海水的内延，而成为当时的海侵边界。

④河型突变点的出现，曲流发育

河流进入海岸河口地带，由于水动力条件（海水顶托，能量消减）以及下垫面（物质组成、地形坡度等）的突然变化，河型上也易于发生突变，或水流分叉出现分流点，或曲流发育出现拐点，如现代歧口河口、涧河口以及过去的海河在泥沽、滦河在何宫营、弥河在大泊头等。此外，古海岸线往往受构造控制，在构造点附近河流也出现拐点或河型突变点，如徒骇河在泊头附近等。可见，河型上突变点的出现，也是分析古海岸的辅助依据。

⑤海蚀地形与海积低平地

在胶东半岛及海州湾云台山山麓地，带均为港湾型弯曲海岸。凸岸多基岩裸露发育海蚀崖、海蚀穴、海蚀平台等；凹岸往往发育海拔10—50米的波状剥蚀—冲积平原和海拔10米以下的海积滨海平原，后者因地势低平，组成物质较细而均一，地下水矿化度高以及氯离子的吸湿性，因而在图象上多呈均匀的较暗色调，纹理结构细腻，局部被开辟为盐田。它们与周围的地物形成对照，不难识别。

（2）地下水的分布与水化学特征

地下水的分布及水质变化与古海水入侵、顶托、咸化有密切的成因关系。随着海退脱盐，不同程度的淡化，使地下水的分布、埋深、化学成分等均反映明显的与岸线相平行的水平分带性。

河北平原东部普遍存在着厚约50—150米，矿化度大于2克/升的楔状咸水体。地下水的分布与水质变化具有大致与海岸平行的水平分带性。从陆向海方向，矿化度由2—10克/升逐渐增加到大于20克/升；水质类型由氯化物硫酸钠镁型—氯化钠型，逐渐接近于

海水。据咸水体中几个比例系数（如rNa/rCl、rSO_4/rCl等）和有关分析推断*，以及在咸水区内缘，许多见海相化石钻孔的证实当时确有海水存在，且海侵范围一般在咸水分布区内，部分与咸淡水界线相仿。

在胶潍平原上，普遍存在着地下卤水，其矿化度均超过50克/升，一般为100—170克/升，最高可达200克/升，被称为"地下卤水盐矿"直接用于晒盐。这个咸水体也具有与海岸线大致平行的水平分带性。其成因主要为古潮间浅滩和沙坝泻湖，在一定的封闭条件下（海水顶托使之排泄、淡化困难，同时又受海水的渗透补给），经蒸发浓缩而成。

以上事例充分说明了，沿海地区地下咸水体的形成、分布和水化学特征均与海侵有直接联系。而地下水的分布及水化学特征的差异，直接控制着水热条件，水盐动态变化，影响到地面土壤、植被的发育，造成了影象色调（亮度、密度等波谱信息）以及形态、大小、纹理结构上的差异。通过不同时相、不同波段遥感图象的光学或计算机增强处理（如彩色合成、密度分割、比值分析等），可以突出有关信息，从而在遥感图象上识别出古海岸的大致分布。

（3）人类活动

自古以来，海岸地带便是人类开发利用的地方。海岸带地区发育的各类垄岗高地，既可以避开海潮的侵袭，又可以免受盐碱低湿之苦，更是适用于人们生息之地，因而村庄、道路、文化遗址座落于此。由于海岸成陆先后不同，海岸带物质组成、水、土差异均呈现与海岸近于平行的分异现象。这使海岸附近的田块结构、工农业布局等等均沿海岸有规则地排列，如渤海湾西北岸的丰台镇一带。因此，人类对海岸的利用、改造，也是推断古海岸的一个佐证。

以上的分析说明，海岸带在独特的海岸水动力条件作用下，发育了一系列的海岸河口地貌类型和相应的地理环境。这些地貌以及环境要素（地下水、土壤、植被、土地利用、工农业布局等）均受到一定空间分异规律的控制，而呈现其特有的空间组合形式。人们不仅可以从遥感图象上直接识别出这一个个的地貌现象，而且可以通过这些地貌与它们周围环境要素之间特有的空间结构关系，间接地推断出古海岸带所处的位置及演变过程。

3．古湖沼洼地解译标志

（1）色调与形态

湖沼洼地，地形低洼、地下水位高。它们由湖沼相物质组成，粒细、色暗、土质粘重、透水性差、持水性强。或积水成湖，或饱水、缺氧而淤泥化、沼泽化，或表面湿度大而呈低洼湿地、洼地。由于它无论积水或不积水，均与水的存在密切相关，且平面上多呈不规则几何图形的面状体。因而，在遥感图象上，它多呈现不规则团块状、斑块状暗色影纹。

---

* 河北省水文地质图说明书（1：50万），1975年。

湖泊（包括水库等）因水体与岸堤边界清晰，极易辨认。有的湖泊水体中生长有浮游生物、水生湿生植被，特别是生长芦苇，而在假彩色合成图象上呈鲜红色调，又因其生态环境单一，所以色调均匀、明快，而区别于周围影象，如七里海、北大港等。

沼泽洼地，经人为改造，部分已垦植为农田，或种植大田作物高粱、玉米、小麦等，或引水灌溉而出现水稻田。尽管土地利用方式不同，影象色调、色彩有异，但仍不失以暗色斑块为背景的色调差异，不难辨认，经图象处理后效果更佳。

（2）空间组合关系

湖沼洼地，从成因上不外乎分海成、河成、构造成因等。它们的发育演变与海岸变化、水系变迁、洪冲积扇发育、地质构造等密切相关。两者存在着一定的空间组合关系。在海岸或古海岸发育地带，往往有滨海沼泽洼地、泻湖、泻湖洼地等；在山前洪冲积扇发育地带，扇形体间及其前缘地下水溢出带往往有扇间洼地、扇缘洼地，有时甚至呈带状洼地群；在现代河道、古河道及其两侧，往往发育有河间洼地、牛轭湖等。此外，因地势低洼，湖沼洼地常成为河流汇水之处，而往往使河渠水系呈放射状（如古射阳湖）、辐合状（如白洋淀）格局。这就是说，湖沼洼地与海岸、河道、洪冲积扇等在空间分布上存在密切的联系。通过对这种特有的空间组合关系的理解和认识，就有可能在遥感图象上识别湖沼洼地的分布与类型。

（3）人类活动

湖沼洼地能提供较好的水源。它的周围是人类生活和生产的良好环境。因而，村镇等居民点多在其周围垄岗地带集中分布。人们可以根据居民点的分布特征来判断、推测古湖沼洼地的分布范围。当然这种分析是间接的。

二、遥感与地学综合分析方法

由于经历了漫长的历史，自然及人为的改造，上述的许多地貌特征与地貌组合已遭到破坏，部分甚至面目全非，在遥感图象上所遗留下的痕迹已不多了。显然，单靠遥感图象上的痕迹还不足以全面、系统地论述水域变迁的全过程，因而必须借助于地学其它方法的支持，进行遥感与地学的综合分析。

（一）遥感与历史考古研究

“水”是人类生存的必要条件。水域条件的变化，对人类生活环境产生巨大的影响。人类舍弃旧居，迁入新地等活动，不仅会在当地留下痕迹，而且会通过各种形式的文字记载保存下来。我国历史悠久，史料记载是极其丰富和相当连续的。如易淤易决的多泥沙河流——黄河的变迁，最早的记载是大禹治水的“山经、禹贡”河道（又称禹河故道，公元前2278—公元前602年）。此后，每次决口、改道、途径之地……均有文献可查。自周定王五年（公元前602年）以来，决溢即达1500多次，其中明显改道26次，酿成大变迁的有7次。黄河几乎“扫荡”了整个黄淮海大平原。尽管它的变化频繁而复杂，但通过史料记载也能理出个大概来。

这些历史考古资料主要有两方面的作用。一方面，它有助于研究和恢复当时当地的

古地理环境，并能与遥感图象的解译结果互为佐证，互为补充。如，莱州湾南岸的“别画湖”(古泻湖)，现已呈碟状洼地，其西南角有几个名称为码头的村庄，其北面又有个大湾口村。据调查，前者为船泊停靠的码头，后者为古别画湖的入海口。据古书记载，古代交通从长安到蓟城或从蓟城到渤海郡，都只能行经太行山东麓和燕山南麓的洪积-冲积扇上。可以推测扇体以东、以南地区是不利于交通的低湿之地。另一方面，历史考古资料用以时代的确定。利用遥感与地学的相关分析，是不难判断出痕迹之间的新老关系，但无法确定它们形成的确切时间。更何况事物是十分复杂的。黄河变化无常，它们相互切割、掩埋、穿插，使遥感图象上的痕迹相互叠置，大大增加了图象判读的难度。遥感图象只能显示水系变迁所留下的轨迹或它们形成的先后顺序，非史料帮助是难以理顺的。当然，图象上恢复的水系变迁轨迹及相互关系形象逼真，又可以弥补史料记载的过简（虽有记载，但位置所在很不确切）和遗漏。两者有机结合在一起，方能提高判读与识别精度。

（二）遥感与岩相分析

无论海陆变迁、河流变迁、湖泊演变，均在地层中留下了相应的沉积物，即海陆过渡相，浅海相、河流相（河床相、河漫滩相）及湖沼相的地层。为了找水、探矿、地学研究等目的，往往进行大量的地质钻探工作，有些钻孔还进行了粒度、微体古生物、孢粒、碳14测年等多项分析。利用这些现存资料，进行岩相分析与古地理环境研究，是验证遥感判读成果的最好证据之一。

如遥感图象“痕迹”所显示的全新世海侵界线，在渤海湾西岸其最西界的内缘，许多钻孔资料证实全新统地层中，含有毕克卷转虫为主的广盐性有孔虫以及大量半咸水介形虫，它们均属于海陆过渡相环境下生存的微体古生物，反映了当时海侵曾波及于此；在苏北沿海钻探资料表明，早全新世海侵沉积，含有多种广盐性海相生物化石，它向西到洪泽湖海岸尖灭，而中全新世晚期的海侵沉积，在板浦、灌云、灌南、阜宁一线以东为浅海环境，以西为海陆过渡相环境，直达沭阳、洪泽一带尖灭。遥感图象“痕迹”所显示的华北平原湖沼洼地，地质钻探资料证实，在全新统地层中有一层较稳定的灰色淤泥质和黑灰色泥炭沉积。该层孢粉分析表明它含大量水生禾木科植被和水蕨等孢子。此外，在泥质堆积物中发现大量食草的古脊椎动物化石，如麋、鹿等，其中特别是四不象鹿，为典型的沼泽草地上的动物。这均从另一个侧面对遥感解译成果进行验证。

（三）遥感与地图分析

遥感图象是地表的真实记录，但其历史过短。地图是经过专业加工概括后的地表现象的反映，其种类繁多，历史悠久。各种地形图、专题图、历史地图等，提供大量自然要素信息和专业内容。图上特殊的微地貌结构常用面状符号表示，并提供必要的高程等数据和居民点等地理坐标，有助于遥感图象解译中进行定点定位以及不同时相的对比分析。此外，有些研究对象是与地形直接相关的。如海岸变迁的研究。在一定的研究范围内，可以把海面当作一个平面，则海侵范围与古地形有关。在我国东部沿海大部分地区，数千年来地形宏观变化不大，因而海侵界线的形态往往与等高线相似。如莱州湾南岸

的几条古岸线分别与3米、5米、10米的等高线关有，甚至局部地段两者基本重合；苏北平原全新世最大海侵范围西抵10米等高线的边沿；胶东半岛一般沿10米等高线分布。华北平原也有类似情况。

（四）其它

遥感与地面实况调查、采样分析、碳14测年方法等地学多种手段的结合。

三、水域演变的遥感宏观研究

（一）滦河及滦河三角洲的发育

滦河是一条多沙性河流，流经燕山山脉的古老变质岩系地层，携带泥沙量大（据测算滦县附近年输沙量为2670万吨）物质颗粒较粗，以粉砂、细砂为主。河流出山口后，泥沙物质大量堆积在山前及河口地区形成一系列洪冲积扇与三角洲。

滦河由于受到东西向燕山山前断裂、昌黎—蓟县断裂，北北东向宁河—唐山断裂、柏各庄—滦县—卢龙断裂，北东向宁河—滦南—昌黎断裂，北西向丰润—唐山断裂、顺滦河断裂等构造以及构造掀斜作用、大陆边缘拗陷作用的控制，河道几经变迁，现代滦河呈折线状，拐角明显，并在拐点处留下多条古河道和数个扇形体。它们总的发展规律是由西向东，由山前向海逐步推移。在冀东地区组成了由三期洪冲积扇和四期三角洲相互叠置的冲积—海积平原。

多沙性的滦河古河道以及它的七个扇形体，由于本身形态、结构、组成物质、含水性等的差异，其土地利用状况均有不同，导致它们的影象色调、形状、纹理结构等特征也明显不一。在遥感图象上，清晰地反映了它们各自的特点以及相互间的叠置关系。如图3-10所示，其中：

A、迁西洪冲积扇（Q_2—Q_3）。

滦河携带着大量泥沙物质，在出山口后形成散流，堆积形成以迁西为顶点的大洪冲积扇平原。还乡河、陡河均为当时古滦河的一部分。此洪冲积扇多已被后期扇形体所掩盖，仅在陡河以西仍有保留。图象上，扇形体前缘和西缘均为扇缘洼地围绕。唐山市、丰润等座落在扇体之上。

B、迁安洪冲积扇（Q_3）。

晚更新世以来，还乡河、陡河上游丘陵山地隆起形成分水岭，把还乡河、陡河与滦河分割开。同时，受东西向燕山山前断裂带控制，滦河在迁西附近直拐向东，出山口后以迁安为顶点在迁西老洪冲积扇之上又叠置形成新的洪冲积扇。

此洪冲积扇地面坡度大，地下水埋藏深，扇面较干，在图象上呈明显的浅色舌状扇体；扇面上广布着指状、辫状排列的沙质古河床高地，由于经历长期的风吹扬，多已变成沙岗、沙丘，光谱反射率特高，在图象上呈辐射状、指状向南散开的亮白色、黄白色条带，十分清晰、醒目；由于受后期河流切割，扇的侧缘及前缘均可见陡坡、陡坎以及扇缘、扇间洼地，由于沙质过重，扇面多未被垦植利用。因而在假彩色合成图象上，主要呈现黄色背景下的白色条带，仅少量有植被处呈红色散染状影象。

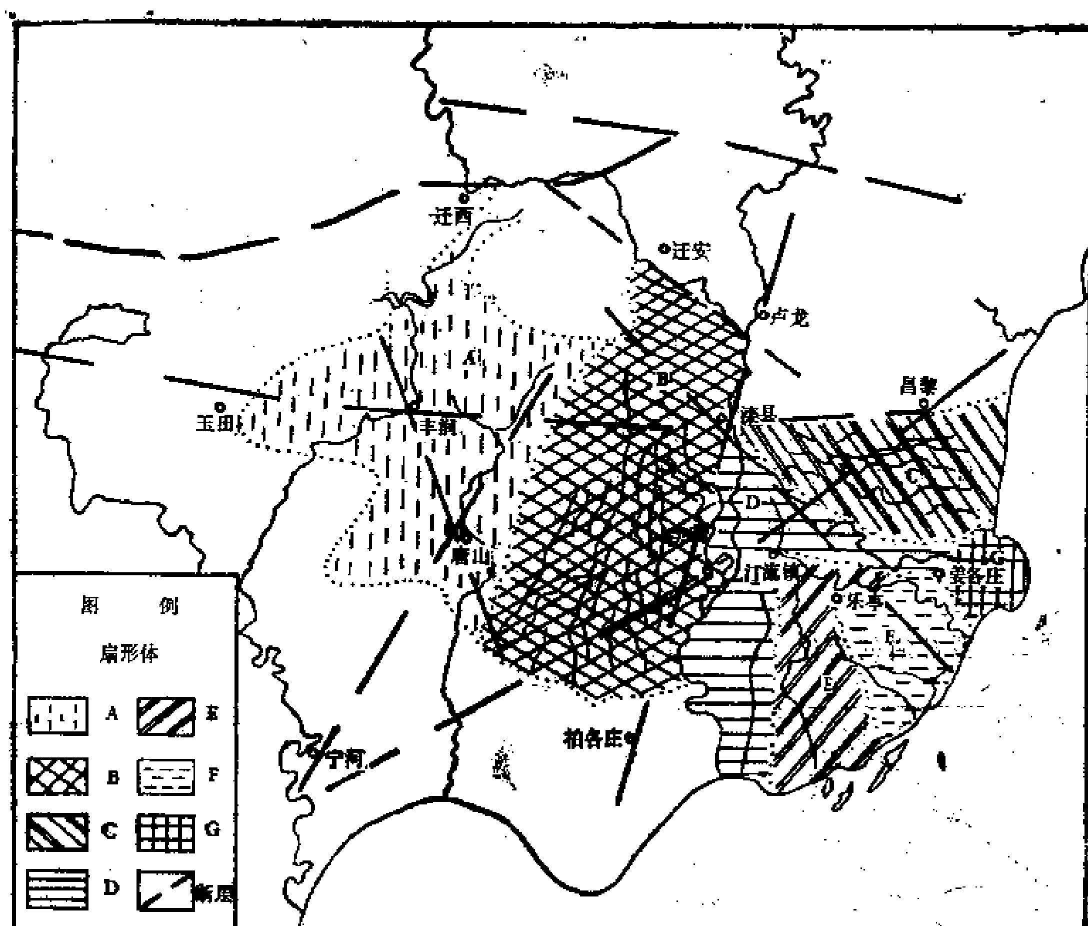


图 3-10 滦河三角洲的演变

C、滦县以东、昌黎以南的洪冲积扇（Q_4^1）。

此扇形体是由于北北东向柏各庄—卢龙断裂西抬东降的差异活动，使滦河折向东南，并侵夺青龙河而形成。也有人怀疑它为青龙河的老冲积扇。

此扇古河曲发育，地面起伏不平，古河床高地、古河床洼地、河间洼地等微地貌类型相间分布。古河床高地呈白色、灰白色沙岗、沙垄。由于地面坡度不大，地下水埋藏及地下水条件较B为好，因而古河道积水面积大，古河床残留湿地、牛轭湖以及河间洼地较发育，而呈较暗色调。整个扇面土地利用率较高，大部分已耕种。

D、E、F、全新世三角洲

受北北东向柏各庄—滦县—卢龙断裂构造的控制以及东西向蓟县—滦县—昌黎断裂的影响，滦河又折向西南，在滦县形成新的分流点，分出溯河、青河等，并发育了以滦县为顶点的新三角洲D（Q_4^2）以及相应的曹妃甸等古海岸沙堤。

在北西向、东西向断裂以及北东向宁河—滦南—昌黎断裂活动的影响下，滦河以东南流向为主，并分流点逐渐向东南迁移，分别于历史早期（宋代以前）和历史晚期（宋代以后），在原滦县三角洲的基础上又嵌入两个三角洲。前者，分流点在滦南一带，分出大清河、长河，湘林河入海，并发育以汀河镇为顶点的三角洲E以及相应的泻湖和白坨、月坨等海岸沙堤；后者，分流点在马庄子一带，分出老米沟江口沟、等入海，

并发育以马庄子为顶点的三角洲 F 以及相应的泻湖和蛇坨等海岸沙堤。

由于晚更新世末期及早全新世为河流主要切割时期，河流切入原洪冲积扇。在 B 与 D 接合处，河流切割现象尤为明显，形成陡坎、陡坡。经河流切割，全新世三角洲地面均较低平，地下水相应较低些，整个影象色调较两侧的 B、C 暗。古河道错综复杂，地表古河道保存良好，水域较宽阔，牛轭湖众多，土地利用率高，多已被垦植为农田，沙带、沙丘不发育，与 B、C 形成截然不同的又一派景象，易于辨认。但是它们之间相互叠置，界线不甚清晰，影象上借助于河流分流点及相应的古海岸沙堤来加以区分。

G、现代滦河三角洲

1915 年特大洪水冲决了原海岸沙堤，形成以姜各庄为顶点的最新三角洲。此三角洲呈舌状小扇体伸向海中。三角洲上、古河道及现代河道呈散状水系，牛轭湖、滨海洼地发育。滦河携带的泥沙物质入海后，在波浪、潮流、海流的共同作用下，不仅于三角洲前缘形成弧形滨岸沙堤及泻湖，还不断地改造着现代海岸。

（二）罗布泊的变化（图 3-11）

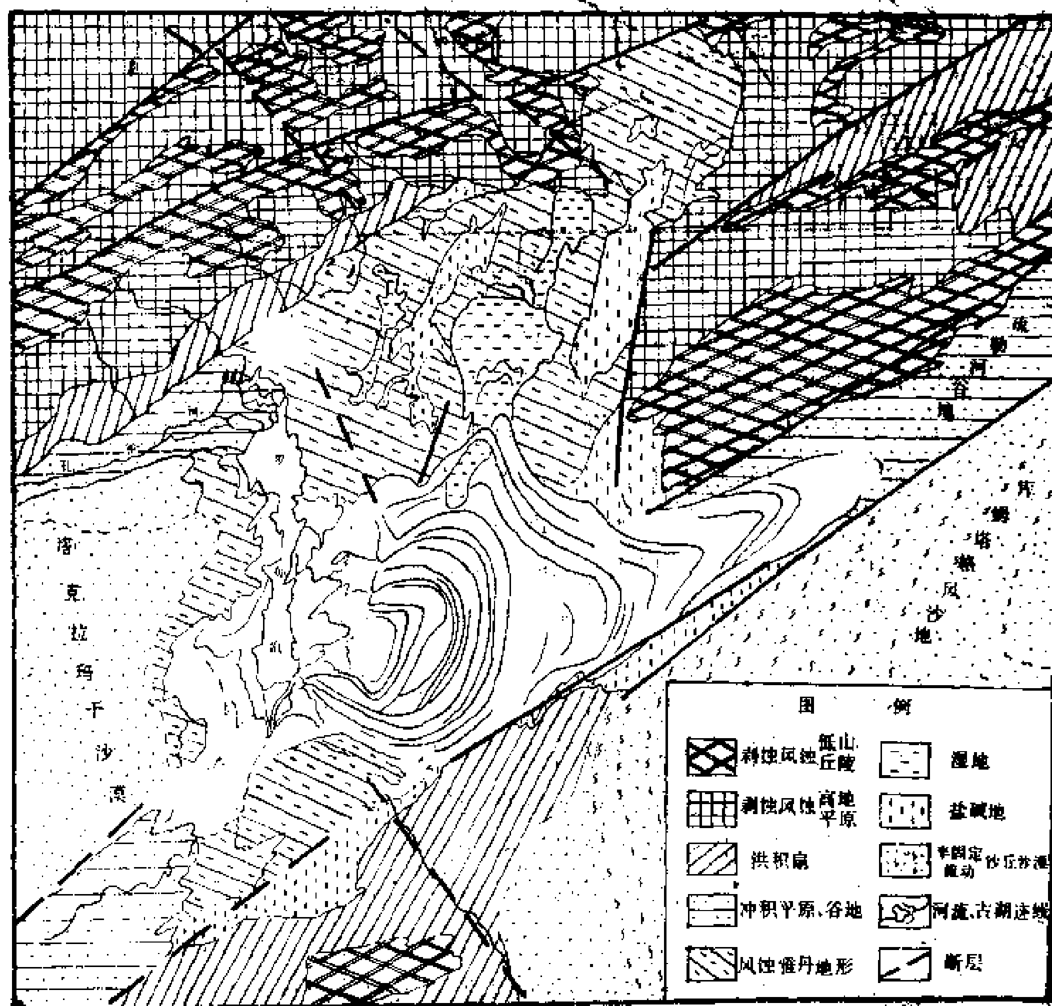


图 3-11 罗布泊的变化

新疆塔里木盆地东缘的罗布泊，在遥感图象上可以清晰地看到一道道深色调与浅色调相间的环形条纹。这些环形条纹并非呈完全的同心圆状，也不封闭，而呈两头稍有收敛的“耳朵”形。图象上还可以看到，罗布泊洼地主要受三组断裂构造的控制。北东向断裂（F_1），从南疆的且末直到甘肃北山南麓，延伸近千公里。它控制着罗布泊的南缘，并把其西面的塔克拉玛干沙漠与其东南面的库姆塔格沙漠分割开。它与东部另两条北东向平行断裂（F_2、F_3）形成地堑谷，疏勒河由此流入罗布泊。北北东向断裂（F_4、F_5），也形成地堑谷，谷地内发育一系列风蚀雅丹地形和大片盐碱地。它控制了罗布泊洼地的北缘。这两组断裂交汇处的东北侧为断块抬升的北山，而罗布泊洼地为构造凹陷处。两组断裂还使罗布泊环状影纹的外环明显向外凸出。此外，还见有北北西向断裂（F_6）。它与北北东向（F_5）断裂共同控制着耳状环纹的西侧。以上三组断裂构造，不仅控制着罗布泊的形成与发育，而且直接影响到它的形态。

罗布泊这一构造洼地可能是晚更新世或全新世初期发展起来的。它是塔里木盆地最低的汇水和积盐中心。起初，由于气候较温和，高山融冰化雪，塔里木河、孔雀河、古车尔臣河、疏勒河等均注入罗布泊，而成为较大湖盆，湖水几乎占据了整个洼地，并在河口入湖处形成小三角洲。随着气候的逐渐变干，位于极度干旱荒漠之中的罗布泊，径流补给不足，蒸发强烈，河水及强劲的东北盛行风带来大量物质淤浅湖底，使湖泊逐渐萎缩，留下大片盐壳。再加上50年代以来，塔里木河下游、孔雀河均建库修坝，水系重新调整，使罗布泊水源枯竭，甚至水源断绝，罗布泊日趋干涸。

由于罗布泊东部、东北部属断块掀升部分，断裂东升西降的差异运动，使湖体的萎缩—干涸过程有向西、向东南偏移的趋势。这从遥感图象上耳状环纹的疏密程度及形态得以明显的反映。同时从耳状环纹的排列、组合关系可以看出，罗布泊的演变具有明显的阶段性。

罗布泊的变迁问题，因它独特的形态而引起世界的关注。尽管对罗布泊耳状环形影纹的成因，众说纷纭。有的认为是水文条件变化而成的环湖堤；有的认为是不同时期的盐壳界线；有的认为是洪流与风蚀的产物；也有的认为是游移变化的痕迹等等。不管怎样，这一道道耳状环形影纹是古湖泊演变过程中留下的痕迹，它客观地记录下罗布泊扩张—萎缩—干涸的过程。这点是无疑的。人们结合它周围环境因子对它的综合影响，可以推断出它们之间的先后交替关系以及发展演变规律。应该说，气候、构造及人为因素共同塑造了今日的罗布泊。

以上是在遥感图象上“痕迹”反映得很清晰的两个典型列子。但许多情况下，我们遇到的则是“痕迹”已十分模糊，必须通过遥感图象的光学或计算机等增强处理方法来突出所需的专题信息。在此基础上寻找遥感解译的直接、间接标志，并结合历史考古、岩相分析等地学综合分析方法，方能得出正确的结论。下面举两个突出的例子。

（三）黄河三角洲的演变

黄河三角洲是1855年黄河由铜瓦厢决口，夺大清河入渤海以来逐步发育而成的，以山东宁海为顶点的大扇形体。它东北至套儿河口，东南抵小清河口的羊角沟，面积约

5000 多平方公里。在三角洲发育过程中，黄河尾闾经历了多次改道，便淤出个新的亚三角洲，一个个亚三角洲相互叠置，便塑造了现代的黄河三角洲，亚三角洲的顶点也逐步下移，使黄河三角洲不断向海推进。

黄河尾闾改道频繁，但可以归纳为7次，分别形成7个亚三角洲。由于它们相互叠置，部分信息被掩盖了。但可抓住三个环节：一是亚三角洲的形成与古河道“水系”直接相关，而古河道在图象上是易于识别的。古河道的年代，除图象反映部分新老关系外，主要根据前人及历史资料加以确定。二是亚三角洲的前缘(即古海岸线)总有一段相对稳定时期，形成一系列古海岸河口地貌组合。尽管它们被后期河流作用、人为因素所掩盖或破坏，但总会留下不连续的部分痕迹或呈现隐约的弧形条纹等。不同时期的亚三角洲不尽相同，从宏观影象特征上仍有微弱的差异。三是一次大的改道往往与人为因素有关，并伴有人工堤坝的修建。这些堤坝约束着亚三角洲的扩张而成为人为边界。而这些人工建筑

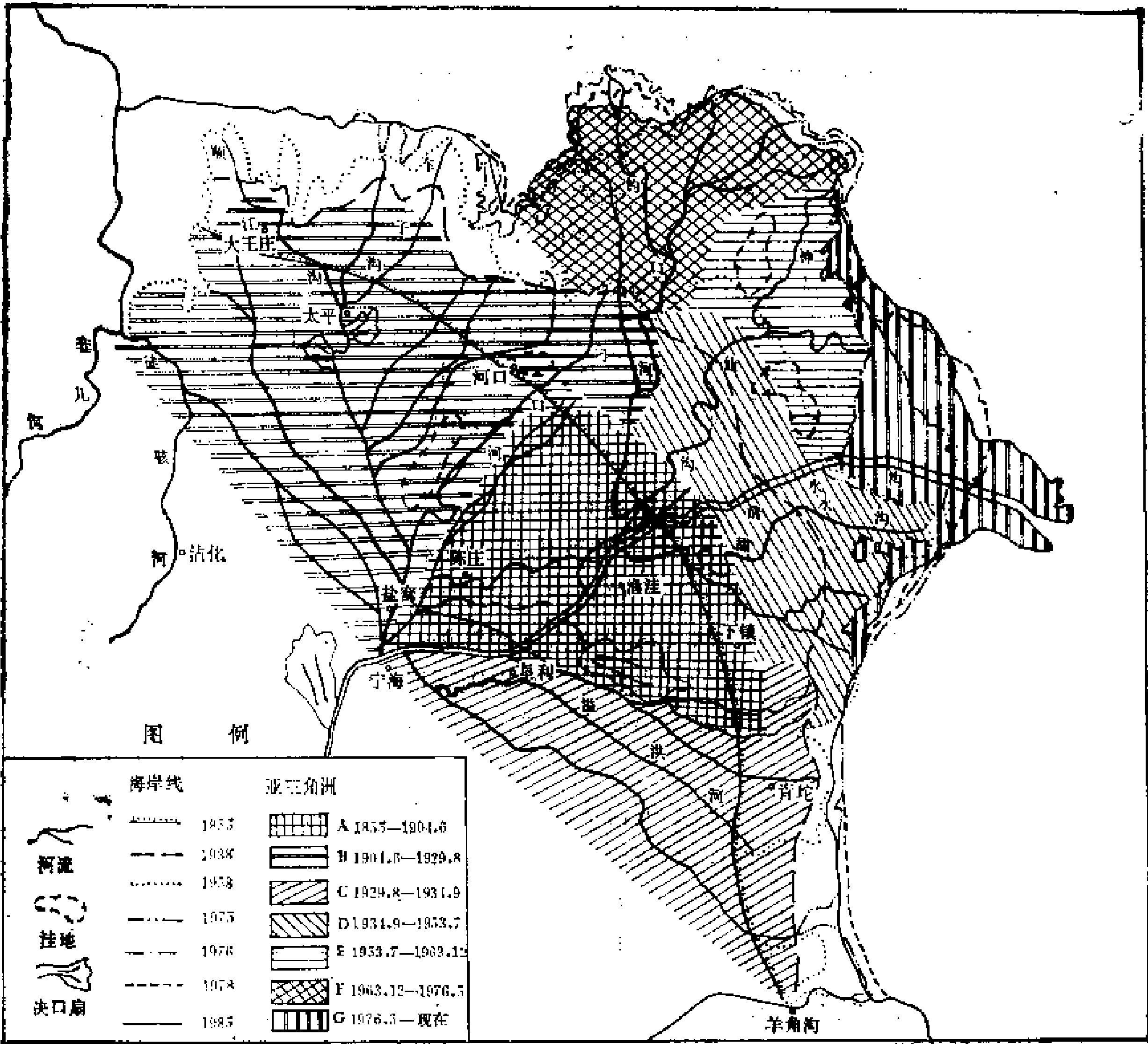


图 3-12 黄河三角洲演变图

在图象上是易于识别的。运用多时相卫星图象进行光学及数字图象处理以及信息复合等方法，便可以基本恢复7个亚三角洲的形成过程，如图3-12所示，其中：

A.以盐窝为顶点，以盐窝—渔洼为中轴的亚三角洲。形成于1855—1904年。古河道隐约可见，3月份图象上扇东缘弧形界线隐约可见。

B.以盐窝—太平村为中轴的亚三角洲。形成于1904—1929年。主要由顺江沟—车子沟"水系"古河床高地及刁口河古河床低地发育而成。叠置于A的西侧。扇面较宽、色调较浅。河道树枝状散开，植被沿河道分布，并有河间洼地和小型决口扇。

C.以盐窝—垦利—青坨为中轴的亚三角洲。形成于1929—1934年。几条古河床低地多被改造利用为现代河道，如溢洪河等。此亚三角洲较低洼，影象色调较暗，仅北部响水河一带的黄泛区呈浅色色调。

D.以渔洼为顶点，以渔洼—神仙沟和渔洼—甜水沟为两个轴线的亚三角洲。形成于1934—1953年，其中1938—1947年黄水南行入淮，故实际行水11年。由于河道分三路入海而呈两个明显的扇形凸起。其间岸线凹入。神仙沟、甜水沟均被分段利用，图象上河道保留明显易于辨认。

E.以神仙沟为中轴的亚三角洲。形成于1953—1964年。即1953年7月小口子裁弯取直后，基本以神仙沟独流入海，先后有两个入海口，走水10年多。河道保留明显，并被人为改造利用。扇面的中上部见大块规则图斑，为天然及人工草场。在1975年5月的假彩色合成图象上呈大片鲜红色调。整个亚三角洲地势较低洼，色调较暗，见积水洼地，并受后期黄河东、北两条几乎相交的大堤的制约，而呈规则三角形的独特形态。

F.以钓口河为中轴的亚三角洲。形成于1964—1976年。即1964年凌汛，罗家屋子人工破堤改道后，由钓口河入海，走水12年。仍为保留完整的现代河道。亚三角洲受河道两侧近于平行的东西大堤控制，出堤后散开。近河口处形成明显的水上和水下三角洲突起，扇面上半部河道两侧，见大块规则图斑，为人工及天然牧场。在夏季假彩色合成图象上，向海方向，芦苇（鲜红）—杂草（红）—獐茅、柽柳（发褐色）—黄须菜（青黄），从耐盐植被逐渐过渡为矮小的盐生植被。

G.以清水沟为中轴的亚三角洲。于1976年5月在西河口人工截流改道后，逐渐形成。受南北呈喇叭形大堤的控制。从多股入海转为独流入海，向海推进而呈舌状突起。

（四）黄淮海平原东部全新世以来海岸变迁的研究

前面"古海岸线的解译标志"中，我们已详细讨论了古海岸河口地貌（堤状堆积体、滨海湖沼洼地、滨海扇形地、河流拐点的出现、海蚀地形与海积低平地等）直接解译标志以及地下水的分布及水化学特征、人类活动等间接解译标志，并讨论了地学其它手段，如历史考古、岩相分析、地图分析、地面实况调查、碳14测年数据等。通过遥感图象处理与以上的遥感地学综合分析，可以推断出黄淮海平原东部全新世以来的不同时期的10条古海岸线（图3-13），并由此恢复海岸变迁过程，研究海岸变迁与环境的关系。

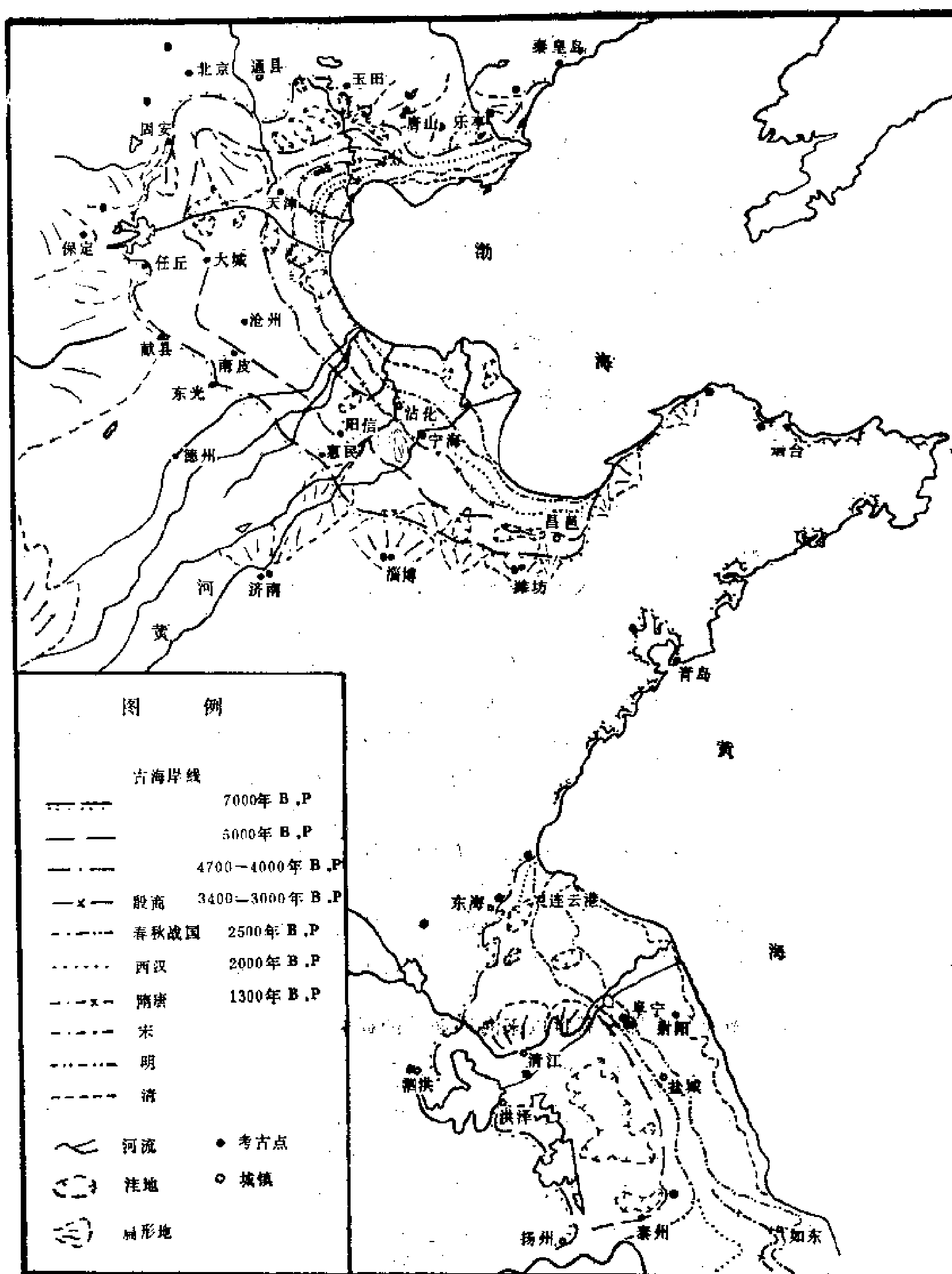


图 3-13 黄淮海平原海岸线变迁遥感分析图

参考文献

〔1〕吴忱等：应用遥感信息研究海河平原的古河道，《黄淮海平原水域动态演变遥感分析》，科学出版社，1988 年

〔2〕魏成阶：京津唐平原地区河流动态变化的遥感分析，（同上）

〔3〕赵英时等：黄淮海平原东部全新世以来海岸变迁的遥感研究，（同上）

〔4〕赵英时等：黄河三角洲水域动态的遥感研究，（同上）

〔5〕中国科学院遥感应用研究所：陆地卫星影象中国地学分析图集，科学出版社，1984年

第五节 全球性研究

一、概 况

遥感应用的内容主要包括资源遥感、环境监测、区域分析、全球研究这四大领域。众所周知，我国在遥感资源清查、环境监测、区域分析、区域规划等方面均取得了不少成绩。然而，全球研究（Global Study），即以整个地球作为对象的研究，在我国尚未开展起来。所以有必要在这里强调一下。我们生活在十分复杂的行星上、大气、海洋的存在支持着丰富多样的生命体的发展。而大气、海洋、大陆之间的作用造成了全球环境变化。为了理解全球变化对人类活动的影响，必须把地球作为一个系统来对待，进行全球研究，即研究各种自然现象的过程以及人类对全球环境变化的影响，以获得更多地球系统的科学认识。可见，全球研究是人类生存与发展对遥感提出的一项紧迫的任务。而这方面的工作需要有很长时间的科学储备。

地球科学经历了漫长的发展过程。人类对自然界的认识也是逐步深化的。每建立一个重要的地学概念都要经历很长的时间，化费很大的代价，通过许多科学家的努力和工作积累才能得到。总起来讲，这一认识过程可以分为三个阶段。

1．人类认识地球上的水陆轮廓，大约化了 2000 年

古代的世界有几个文化中心。西方：地中海为一中心，故称之为地中之海（Mediterranean）。当时只知道地中海周围（包括欧洲南部的意大利、希腊，非洲北部的埃及、摩洛哥等）那么一点天地。经过地理探险，才逐步知道了印度、新加坡、美洲等。直到 1574 年的欧洲地图上尚无东方。东方：中国也是个中心，故称之为各国之中，又称中原，指的是黄河流域一带。对中国国土的认识也是逐步深化的。过去东方与西方互不通气。直到明代郑和7次下西洋以及利玛窦来我国，才把东、西方世界勾通起来，认识了现在世界的轮廓。

2．近200年地学标志性的成就——建立全球性的科学理论

这里举三位代表性的人物。

(1) 魏格纳（Wegener 1880—1930 年）是德国地球物理学家和气象学家，"大陆飘移学说"的创始人，是研究岩石圈的代表。早在 1912 年，魏格纳根据大西洋两岸非

洲与南美洲大陆边缘轮廓可以拟合以及大陆块间古生物化石、植物群落的特征等提出了大陆飘移学说。虽然当时遭到反对，但这却是当今板块构造学说的前身。

(2) 洪堡德(Humboldt 1769—1859年)是德国著名的探险家和自然科学家，是研究水圈和大气圈的代表。他首次提出气候等值线的概念以及气候区划——全球气候带的思想。

(3) B.B.道库恰耶夫 (Докучаев 1846—1903年)是俄国自然地理学家，他是研究生物圈的代表。他首次提出世界自然地带的概念，论证了自然现象的地理性规律。他把地球按热量和水分的分布规律划分地带，有热带雨林、亚热带常绿林、温带森林与草原、泰加林、苔原等，并把这种概念用于土壤学研究中。

3. 近20年航天遥感的突破

遥感技术尤其是航天遥感技术的发展使地学工作者开阔了眼界，可以从一个新的高度来认识地球甚至宇宙。过去对地球的研究多是推理性的，而现在进入了一个直观阶段。遥感不仅有可见光、近红外、远红外、微波之分，而且可以把地球的形状、海陆分布、物理性质、物理场（包括热力场、动力场、磁场等）以图象或数据的方式直接记录下来，具有直观性。航天遥感信息除了直观反映客观规律外，还提供宏观、动态的信息。

静止气象卫星第一次实现了全球性的观测。每2小时可以得到地球N 40°—S40°的云图以及南极图、北极图。对于地球科学来说，则是把对地球研究的频率可以提高到每2小时提供一次全球性资料。

一幅宇宙图象，甚至能包括整个地球或整个月球及其它星体。如月球背面无光且很冷，可见光已对之无能为力，而红外遥感便能进行月球正反面的测绘，完成1：100万月球地图。

陆地卫星一幅图象覆盖地面185公里×185公里，全部覆盖我国需560幅，全部覆盖全球陆地也不过4000幅。如此完整的、准同步的覆盖地球，这是遥感出现以前无法办到的。它为全球研究提供了必要的宏观资料。

近年来，地理信息系统的发展，加上地学综合分析方法的建立，使得我们有可能充分利用多种遥感信息与非遥感信息进行复合处理，并根据各种地学要素的内部联系，建立各种地学数字模式，结合地学传统分析方法进行地学综合分析，开拓了全球性研究的新途径。

从地球科学发展的历史可以看到，人类对自己生存的环境——地球的认识经历了漫长的历史，但是这种认识的过程是一个加速的过程，加速的动力在于技术手段的发展。遥感正是在新阶段进行全球研究的强有力手段。

二、遥感全球宏观分析

遥感的全球性研究目前尚未系统地进行。这里只能谈个初步轮廓。从四个方面的实例来说明。

古老地層区　年青褶皺山（白垩纪到第三纪）　深海沟　△△火山活动带　大陆裂谷系統　几百万年中，由于海底水平断裂运动形成的海洋山脊的中央断裂

图 3-14　地球构造图

（一）岩石圈的研究

这里仅介绍遥感发展以来，又重新兴起的两个问题。

1．板块学说的论证

板块均在移动，地面观测由于无法确定标准点，也就难以得出它的相对运动量。而利用遥感动态监测所提供的数据，便能精密测量板块运动速度和方向（图3-14）。如美国西海岸的圣安德烈斯大断裂是太平洋板块与美洲板块发生水平运动的结果。它的位移量是通过一颗测地卫星来测定的，测得结果为5厘米/年。喜马拉雅山脉是由北部的劳亚古陆与南部的冈瓦拉古陆碰撞隆起而成的高大山脉。目前冈瓦拉古陆的印度板块仍在向北推移并俯冲于欧亚板块的喜马拉雅山之下，使喜马拉雅山继续抬升，其位移量为3厘米/年。

目前，科学家们还利用遥感及其它手段所取得的各类数据，进行计算机模拟来研究地球的形成、发展和演变过程。如Bullord选择等深线500呎（约1公里）用电子计算机拼合大陆边缘，其空隙部分很小。美国NASA已选聘56名科学家利用空间取得的遥感数据，来研究板块运动、地壳形变以及自转的动力学，从而加深了解地球动力学状态，更好地掌握地壳运动和地震的机制。

运用遥感图象对全球范围或洲际的线性形迹进行宏观研究，也为板块运动、洋底扩张学说提供了直观的论证。如雅鲁藏布江缝合带、郯庐深大断裂带的存在。

裂谷是地幔物质上涌的出口，受张力裂开溢出的物质向两侧分流导致板块运动，同时也利于矿液富集，并作为热液矿床的通道，因而裂谷中往往伴有多金属矿带。

世界著名的东非大裂谷，从南非经中非、埃塞俄比亚直到红海。红海便是由海底扩张，海水灌入而成的典型裂谷。这在遥感图象上也是很明显的。外形上的吻合，断裂谷及海底有新的玄武岩——新生洋壳、温泉—热流上涌，并见深水生物等。这说明红海裂谷现仍在继续扩张。卫星遥感图象清楚地显示了这个初期地壳破裂地区以及它的缓慢运动。

郯庐深大断裂带也是个雏形的大裂谷，同时是一个原生金刚石、内生多金属矿带。其中仅沂沭带内便集中了不下70多种铜铅锌、原生金刚石矿点和矿床，并有十多处已达到中小型工业矿床要求*。它们多分布在北西向与近东西向线性构造与深大断裂的交汇处。

夏威夷群岛位于太平洋中心裂谷处，绵延600多公里，为一系列火山组成。利用热红外传感器监测火山的大面积热平衡，不仅可以了解裂谷的位置，还可以预报火山活动、火山爆发的时间，而且不同色调的熔岩流清楚地显示了熔岩的流动方向，揭示了海底扩张等缓慢运动。此外，裂谷处往往有热泉溢出，是海水中寻找淡水源的一个途径。

以上例证说明，对板块的论证并非纯科学理论问题，究竟是不是裂谷，是什么时期产生的裂谷，现在是否继续活动等等的研究均有重要的现实意义。这是遥感宏观研究的

---

* 王海平，沂沭深断裂带的影象特征及其与内生多金属矿原生金刚石的关系。

重要内容之一。

2．环形构造的新论点

建国35年来，我国1：20万的基本地图完成了60%。苏联的国土是我们的3倍，却仅用5年时间完成了全国1：20万地质图。其重要原因之一，是苏联运用了遥感技术。他们先利用分辨率低的气象卫星图象来解译Ⅰ级大地构造线，再用陆地卫星图象来解译Ⅱ级构造线，这样便大大加快了速度。苏联通过遥感手段在全国找到4000多个环形形迹，其中约2500个被地面调查证实，直径最小的几百米，最大的1000公里。通过环形构造的研究，苏联科学家提出了一个地质学的基本问题。过去研究地球大地构造多从线性(Lineament)去研究，奇怪的是所有其它星球上却是以环形构造为主体，当然也有线性构造。天文学家们也支持月球与地球同源的学说，而月球上有大大小小许多环，那么为什么偏偏地球上以线性构造为主，很少环形构造呢？地球上到底是以环为主，还是以线为主？环形构造的机制是什么？他们认为环形构造可能是新老火山、火山颈、陨石撞击现象、穹窿构造、侵入岩体、盐丘等原因造成。他们还认为环形构造控制着化学沉积，如煤田、油田、铁矿等，与侵入岩体有关的环形构造往往引起周围金属矿床的富集和地热的产生。所以，对环形构造的研究利于地质找矿、地热调查，具有现实的经济意义。

我国也有许多大大小小的环形构造。在1：600万陆地卫星影象镶嵌图的基础上，可识别出直径大于20公里的环166个，其中直径大于100公里的环有59个。我国东南沿海的弧形，便是以宜昌为中心，半径约1000公里的一个大弧。它的成因及与找矿的关系尚待研究。李四光先生提出的山字型构造、歹字型构造均有核部存在，这个核便是环形构造。从卫星图象分析中可以看到我国浙江、福建有不少侵入岩体、火山结构所形成的环形构造，其中有些环形具有找矿意义。目前在地质找矿中，通过遥感图象的环形形迹，结合重力、磁力资料进行隐伏石油构造研究，以及通过环形与线性形迹空间关系的研究，再结合地球物理地球化学信息寻找多金属矿床等，均得以广泛运用并取得显著的勘探效果。

（二）大气圈的研究

对于大气圈的研究速度快于岩石圈。这是因为天气现象本身是宏观的，它是大气、海洋活动的结果。也就是说，它把整个地球当作一个热动力源，当成流体力学场来研究地—气系统中大气与海洋的水气交换以及整个天气系统。因而，气象气候学家较早就树立了全球研究观点。

60年代初，气象卫星便获得大批全球性资料，广泛用于大尺度的气象研究中(彩页1 (a)、2 (c))。特别是全球气象卫星系统及全球性气象观测网络的建立，推动了全球气象研究的逐步深入。

英国大气动力学家豪顿 (Hougton)，利用NOAA气象卫星云图，研究南北两极500毫巴气压场的运动对全世界水旱灾的影响，建立起相关模式，从而对水旱灾进行预测，并特别指出它与我国西北地区水旱灾存在着正相关。

遥感对于大气圈的研究在本书“气象卫星”一节中已有论述，这里就不再多说了。

（三）水圈的研究

利用气象卫星云图和海洋卫星资料，进行大气海洋动力学研究，以了解海面温度场、风力场，大尺度涡旋、洋流运动等，这对渔业、航海、开发海洋资源等均有实际意义。如我国的黑潮暖流与亲潮寒流的交界处，往往是浮游生物和鱼群的聚积地，是一个天然渔场。研究亲潮与黑潮的季节性摆动，可以及时地进行海况与渔情预报。

地球表面固态水的分布、世界冰川的进退特别是两极冰盖的活动，使世界海平面发生升降变化，直接影响到世界的气候、水源以及海岸城市港口的建设。此外，海冰的扩散、海冰中航道的实时选择、海面流冰对港口建设及海上油井平台安全的威胁、海冰中捕鱼作业等，均需要对海冰进行遥感的宏观监测。

大地水准面过去都认为是一个曲面，但从卫星照片中发现它是一个起伏不平的面，有突峰和深谷。如，新几内亚附近海面见到＋76米的隆丘，而马尔代夫岛附近则有－104米的凹陷，两者经度 50°—60° 的距离内竟差达 180 米。这种水准面的起伏不平，显然是与地球重力场、地球的构造、密度、转动等地球物理特性有关。人们还根据卫星提供的海面宏观信息，去掉波高因素的影响后，分析计算出日本海中心有个比周围海面高出 7 厘米的突起。

此外，直接利用海洋卫星的红外和微波辐射计测海面温度绘制全球大洋表面温度图；利用海洋卫星的雷达高度计测海面高度，绘制全球大洋海面起伏形态图以及全球海流分布图；利用海洋卫星的雷达散射计测海风，绘制全球海面风场图等。这在本书“海洋卫星”一节中已有论述，不再重复。

（四）人与生物圈的研究

在不少情况下，环境监测并非一国之事，而具有全球性。这里环境监测包括环境污染与生态环境监测两个方面的内容。

一些环境污染的分布由于受到大气环境、江河水流的控制，而往往造成大规模，甚至国际性的影响。在这种情况下，需要各有关国家共同利用遥感技术进行监测，以控制污染的发展，减少损失。如由于受西风带的影响，英国的工业污染危害到挪威、瑞典。两国各用卫星监测英国酸雨，以向英国索取赔偿。五大湖区为加拿大与美国共同管辖。加拿大在安大略湖边建一个大核电站，要求核电站的热水污染使湖面增温不超过 2 度，两国相互监测以防湖区污染。

另一方面，生态环境变化的监测，如全球气候变化、沙漠化、海岸带生态环境变化等问题已成为国际上瞩目的问题，也往往涉及不少国家，需要建立共同的环境监测体系，与全球性环境数据库，才能实现真正的监测与治理。

目前，国际上对这种全球性的遥感监测系统已给予了相当的重视。1972 年以来，联合国环境小组开始协调国际环境监测活动。这种监测着重在大区域和全球性水平上，并设立了全球环境监测系统。它的活动内容主要为

①气候监测。如二氧化碳含量、冰川监测等。

②长距离污染迁移监测。如酸雨迁移模式。

③与人类健康有关的监测。如空气质量监测，水质监测等。

④海洋监测。

⑤陆地再生资源监测。如热带雨林覆盖、牧场、沙漠化监测等。

在它的工作中，一个重要的问题就是保证获取数据的质量。为此，除了利用有关监测站的资料外，另一个重要资料源就是利用航天遥感的信息。它是实现全球环境监测的重要技术支柱。

这一方面的工作正在发展，如何开拓遥感技术在全球性研究中的作用，需要我们去探索。

参 考 文 献

〔1〕 Michael D. Gwynne, GEM, and the Need for a Global Resource Information Database, *The Science of the Total Environment*, Vol.56, No.15,1986

〔2〕 陈述彭，赵英时：航天遥感对地球的宏观分析，《遥感信息》,第2、3期,1988年

〔3〕 Earth System Science A Closer View, *NASA Report*, Jan, 1988

第四章　遥感地学分析的比较研究

遥感在各国的发展是不平衡的。这种不平衡除了体现在遥感技术本身的水平方面以外，更多的还是体现在应用领域、地学分析的广度与深度。各国都有自已独特的国情，遥 感 应 用 侧重点也常有不同。研究各国遥感技术发展过程，分析其长处与短处，对比我国的情况，这将有益于我们总结国际上遥感技术发展与应用的经验与教训，扬长避短，开辟自己的遥感新路。为此，下面以美国、苏联、法国、英国、瑞典、加拿大、日本、泰国、印度、墨西哥等10国为例，进行遥感地学分析的比较研究。

第一节　美国遥感

一、美国遥感技术背景

在遥感方面，美国和苏联也属超级大国。美国的发展较苏联更为全 面。就 总 体 而言，美国在运载工具、传感器、图象处理、基础理论研究及应用等遥感各个领域（包括数量、质量、规模上）均处于领先地位。

1. 利用了多级平台，建立了环境卫星系列

美国不仅具备航天遥感、航空遥感、近地面遥感等多层次的遥感平台，并建立了包括天空实验室系列、气象卫星系列（静止气象卫星与极地轨道气象卫星）、陆地 卫 星系列、海洋卫星系列等一系列环境卫星系列。

2. 覆盖大陆的卫星地面接收站

为了进行全球范围的研究，美国在全世界设置了覆盖大陆的陆地卫星地面接收站。在1982—1983年，已有16个地面接收站在运行中。目前地 面站已达21个（表1-7、图1-15）。全球陆地仅剩下南极洲、中亚细亚、新西伯利亚等少数空白区。

各国的接收站每接收一幅图，都要在当天用微波回送到美国的地球资源观测数据中心（EROS—Data中心），故美国掌握全球性的地球资源信息资料。

3. 航天飞机和空间实验室标志着遥感发展的一个新阶段

美国的遥感技术在第一章里介绍的较多，这里不再赘述。

二、美国遥感地学分析与应用的特点

1. 侧重全球研究

覆盖全球的卫星系统，遍布全世界的地面站，使美国优先获得全球性的地球资源信息资料，为它的全球研究提供了可能。在遥感应用研究方面，美国一直侧重在全球范围问题的研究。与之相比，对本国的研究就弱些。这是为它的全球战略目标服务的。

2. 信息复合与多元分析

在美国，一方面各类遥感信息源较丰富，另一方面图象处理的能力强，因而它能较大限度地利用每个象元提供的信息，并进行复合处理和多元分析。

（1）陆地卫星影象与地图严格配准。用于进行土地分类自动化与制图，所做的华盛顿幅土地利用图，可按地图格网内象元数统计分类面积，并利用不同时相的图象分析动态变化，用于探测矿山露天开采面积及绿化情况监测；用于森林火灾、迹地的面积统计等(彩页7(a))。

（2）气象卫星 TIROS-N 的甚高分辨率辐射仪（AVHRR)和高分辨率红外辐射探测器（HIRS/2）的影象匹配分析。AVHRR 空间分辨率达 1.1 公里，探测可见光信息，但仅有局部地区的资料；而 HIRS/2 空间分辨率较低（20—36 公里)，探测红外波段的信息，有全球资料。将这两种资料相匹配，进行信息复合，分析能力便大有提高，主要应用于分析与海洋水流系统和海面温度场有关的内容。如研究墨西哥湾流的变化、冷暖气流之间的涡旋及研究海洋大陆架上的陆架水和陆坡水界面、上升流性质；研究海冰状况，包括海冰对风的效应，海冰再冻结及冰积（park ice）的特性。

(3) 利用陆地卫星影象资料，进行不同时相、不同种类资料的叠加分析和应用。如用陆地卫星与地磁磁力异常信息叠加，在伊拉克寻找石油；与重力异常信息叠加，找深部断层的分布；与 SIR 图象叠加，进行地貌分析，效果很好，尤其是区分不同时期洪积扇沉积相空间分布十分形象。

信息复合与多元分析在美国遥感分析中应用很广。

3. 动态分析与预报

正由于遥感信息源较充分，用户索取资料也较便利，因而美国在动态分析与预报方面起步也早。如大面积小麦估产及对小麦生长期、环境分析等，山地雪被与下游径流形成的研究与预报等均是利用卫星资料进行动态分析与预报的。美国也利用航空资料进行动态分析。

4. 地理信息系统的支持

美国一方面建立了以地图为基础的地理信息系统（GIS)，作为对遥感解译的支持，如三里岛核扩散事件的分析，人口分布与全球发光点的监测等，均是用遥感资料与地理数据库结合起来分析的；另一方面，美国还建立了以遥感影象为基础的地理信息系统。如在本书“地理信息系统”一节中介绍的 ELAS 和 IBIS 系统，均兼有遥感图象处理和地理信息系统双重功能，广泛应用于资源与环境研究方面。

5. 航空遥感与航天遥感并重

6. 建立地面试验站网

（1）除在中国、苏联外，美国在全球设有 2000 个小麦地面估产点，其中在本国设有 800 个。

（2）美国选择 276 个地面实况观测点，包括沙漠、盐湖、沼泽、海滩等地区；并设置了35个地面辐射校准站（该类站要求地面单一、卫星图象上反映的信号较一致，以此来校准遥感信息的亮度系数），为发射资源卫星积累了多年的数据，并经常用飞机巡回测试数据。

（3）在本国近2000个经纬点上，加设反光镜提供影象定位信息作为控制点和精加工几何校正的依据。

（4）支持墨西哥、加拿大的地面试验场。提供飞机巡航等。

总之，美国在遥感技术方面付出了巨大的经济与智力投资，用以推进遥感技术的发展，探索遥感的新道路，寻求技术突破。但是，美国对于遥感的研究缺乏统一的组织管理和应用规划，因而成果较为零散。相比之下他们对基础研究不足，多是从波谱分析入手去找成象机制，纹理分析、系统分析不够，与专业的联系不如欧洲国家的深入，也没有建立形成生产力的技术流程。产生这些问题的根本原因在于他们从军事目的出发，民用多是作为副产品加以利用，因而本国的研究应用工作显得并不很出色。

第二节　苏联遥感

一、苏联遥感技术背景

苏联出于和美国竞争的需要，很重视遥感技术和遥感应用的研究，也重视全球性的研究。苏联科学院设立了"利用航天技术研究自然资源委员会"。实际上，它是苏联遥感技术研究的最高委员会。此外，遥感研究主要集中在几所大学（莫斯科大学、列宁格勒大学、基辅大学、莫斯科测绘学院等）和一些生产部门。

1．卫星系统

苏联发射了很多科学技术卫星和地球环境观测卫星，提供了大量的地面信息。苏联的空间技术远远超过它的遥感水平，或者说传感器远落后于运载工具。苏联技术系统的特点与美国不一样，主要采用回收摄影的方式，使用手持照相机、航空相机和电视摄象机等。并已对外提供部分产品，如KFA1000（空间分辨率5—10米）、KATE 200（空间分辨率15—30米）、KATE140（空间分辨率60米）、MKF6（空间分辨率20米）等不同比例尺的黑白、彩色、单波段或多波段的正负胶片或图象等。

苏联遥感的主体是可见光摄影。红外的水平并不高。1966年以后，苏联有了双通道红外辐射计，用于测量黑海、白海、波罗的海的海面温度。1967年发展红外扫描仪，用于火山、地热、火警、燃料矿床、地质、农业、土壤、水文等方面的勘测工作。"流星"气象卫星上装置有8—12微米的窄角红外辐射计，可以得到电视摄影照片（苏联称之为红外宇宙摄影）。1975年"礼炮"4号轨道站上装有红外分光光度计，用于观察地球和月球。

"宇宙号"和"流星号"红外象片的原始比例尺为1:1500万，地面分辨率在象底点为15公里×15公里。当温度在0℃以上时，传感器的温度分辨率是2—3℃；在0℃以下时，则分辨率为7—8℃。尽管传感器灵敏度较差，象片较粗，但苏联利用它做了很多工作，应用不仅限于气象方面，还用于进行宏观的地表热力场的规律研究。例如从哈萨克斯坦及我国新疆、西藏一直到印度这样大范围内分析不同景物的分布，可划分29个景观类型。利用"流星号"红外象片与比例尺1:140万、1:110万地图对应，复合雨云气象卫星资料来编制广大地区的有效温度图。这种有效温度图的地面分辨率是10公里，温度分辨

率是 2℃，能有效地研究热差异和热力场的分布规律。利用这种红外摄影象片转换的有效温度，还可以研究热力场和湿度、水面、植被覆盖层等要素的关系。如 1971 年 7 月 19 日一次大雨后，能很快地把中亚细亚干草原上的表面湿度计算出来。苏联专家研究认为在表面湿度是 2.5%，温度是 21℃；湿度达 8.7%时，温度提高1 度，即 22℃。这方面的研究和农业上的棉花种植密切相关。

此外，苏联在利用气象卫星电视系统所获得的电视摄象图象进行景观分析方面做了大量工作。苏联地理学家认为这种图象可应用于：

（1）进行小比例尺区划。

（2）解译稳定的景观要素，编制景观参考图，应用比拟法进行地理研究。

（3）研究景观分异，分析大面积的地方性景观的相互关系。

（4）揭露不同等级的自然综合体的相互关系。

（5）进行包括雪被、植物季相节律、干旱地区的湿度变化等景观分析，研究自然过程和自然现象的动态。

在多波段方面，苏联主要是多光谱相机。这种相机 f=40 毫米，24 厘米×32 厘米相幅，比例尺约 $1:8\times10^6$，使用不同光谱灵敏度的黑白胶片和彩色胶片。1973 年“联盟”12 号科学实验卫星获取第一批多波段照片，到 1975 年“礼炮”4 号开始试验多波段扫描成象，现已发展到多种不同类型的多光谱扫描仪，波段数 2—8 不等，地面分辨率可达30 米。

苏联的光谱研究早在 50 年代就已开始，主要强调“光谱形态”。把物体的影象和象片上的密度级进行对比，得到一个相对密度（亮度）。这个相对密度以 1—6 的数字形式表示。每一波段都与之相对比划分 6 级。任一物体的“光谱形态”都用一个四位数字来表达，按摄影波段、波长增长顺序记录，并对这一值进行编码。影象上的密度也用同样的形式表示。这样可以求出各光谱波段影象密度差和它的总和的比值，作密度玫瑰图、直方图或光谱形态曲线等，进行地物光谱研究和对比，以便识别出不同地物类别，编制农业、植被、地貌、水文等各类专题图。

2．地面试验场

苏联很注意设立各种地面试验场。凡是原始森林、沙漠、山地、海洋等都有自己的试验场，用试验场来弥补传感器的不足。这些试验场一方面用航空试验取得资料，一方面研究扩大遥感应用的途径和可能性。

3．其它方法的研究

改进实地判读和自动化处理方法，加强航天专题制图方法的研究。

二、苏联遥感地学分析与应用的特点

1．侧重地学综合分析方法

由于传感器及判读设备的不足，而地学专业基础强、专业分析深入，因而强调地学综合分析方法。用地学和生物学的成就去支持遥感分析，这一特点是很明显的。用此来提高解译和判读的水平，并用专业分析的深度来弥补传感器的不足。

2. 重视全球性研究

苏联努力获取个别地区和全球范围地球资源探测资料，进行全球性的研究。

3. 应用实例

（1）天山楚河东部盆地第四纪沉积物和新构造运动的研究

作为研究前提，首先肯定了大面积的第四纪沉积物是和每个区域中的最新构造运动不可分割的，这从第四纪覆盖层的结构充分体现出来。

①第四纪沉积物的带状分布，反映了基岩褶皱发育这一大的构造形态。正由于这种对称的或不对称发育的特征，造成后期被分割的较小单元。

②第四纪时期堆积面的变形，是小的构造发育的表现。

③第四纪覆盖层的破碎，分为盆地、阶地等，反映了沉积后最新的构造布局。许多断裂是相互交切，有些断裂尽管新但规模很大。

根据这些论点，分析了天山盆地中的第四纪沉积物和新构造运动的类型。从卫星图象上可以看到在实地上难以辨认的地质界线——晚更新世冲积物和洪积物上的界线、晚更新世和中更新世洪积物之间的界线等；可以为水文地质划分出第四纪沉积面的区域倾斜，沉积相的变化，并编制第四纪覆盖层的预测图，划分出第四纪的成因类型、形成时代和构造变形，预测第四纪覆盖的发展趋势。

遥感的解译工作是从第四纪沉积与构造的机理和固有规律来分析，根据象片上第四纪沉积层的结构和原始形态的完整性等进行分析。苏联很强调成因的发生，如土壤学、大地构造学等均如此，重视研究对象本身的机理和固有规律的研究。这一点是苏联遥感应用的一个重要特色。

（2）研究里海北部的地球深部构造

里海一带是苏联很重要的研究地区。这是因为伏尔加河注入里海，但由于上游运河导流，注入里海的水量减少，伏尔加河口三角洲干涸，引起一系列的问题。另一方面，这一地区有许多储油构造，无疑是苏联科学家感兴趣的地段。Л.Б.阿里斯达霍娃(1974)根据“流星号”气象卫星和地球环境观测卫星的小比例尺卫星象片进行研究，强调以这个区域的构造运动规律来作为判读的基础。П.B.弗洛连斯等（1976）利用Landsat象片编制伏尔加河谷的区域构造线图，反映了不同方向的构造排列——几组断裂构造和许多大的圆形、环形构造。这些构造体系把里海北部的三角洲切成许多大小不等的断块，出现阶梯式的下降。伏尔加河段的结构和构造线呈现规律性的联系。这个构造体系已被物探资料证实。而里海东北部的许多大的圆形、环形异常区往往基底是玄武岩或其它结晶岩的穹窿构造。它常与地面上单一的或成群的盐丘相对应，而这些构造体系又是和石油相联系的。

（3）水文方面的工作范围很广

①水文网的解译。不同的遥感资料对河流宽度和支流等级的解译是不同的。苏联总结了自己的卫星对识别河网的可能性（表4-1），以及卫星象片在水文应用中所必须达到的分辨力（表4-2）。

②研究内陆水体。如水库深度、汛期水库的淤积、沿岸的淹没、冰情等短期预报。

表 4-1　卫星象片识别河网的可能性

图象（载体）	地面分辨率（m）	解译		原始资料
		河流宽度(m)	支流等级	
“联盟号”摄影机	50—120	70—150	5—6	摄影资料
“双子星座”摄影机	80—100	50	5—6	摄影资料
地球资源卫星(MSS)	40—100	100	4—5	摄影资料
“雨云号”(AVCS)	800	500	4—5	摄影资料
“流星号”电视摄象机	1250	500	4—5	摄影资料
地球环境观测卫星(APT)	3500	3000—4000	2—3	摄影资料

表 4-2　卫星象片在水文应用中所必须达到的分辨率

需要解译的水文要素	地面分辨率（m）
河岸与湖岸的侵蚀	3—15
土壤湿度的研究	7—15
河流、湖泊的冻结状况	15—30
洪水测量	15—30
河流流域制图	90—120
河床变形	90—120
冰雪制图	90—240

他们首先研究水体对航空航天测量的要求，以及为保证航天测量所必需的地面观测资料和船上观测资料等。在研究中，利用综合信息——岸边地带的地貌（沙滩、沙嘴、古河谷、古河岸、水下地形）、水位、径流（沿岸流、断面流、泥沙流）、水混浊度（颜色、透明度）、风浪、流速、冰厚、水生生物等，采用光谱法，并进行图象处理和地面同步观测。

③地下水研究。通过“流星号”象片所解译的地形、构造等信息，不仅反映了地表状况，而且反映出地下一定深度的信息。如“山峰、山麓、河谷”可帮助确定地下水补给和露头区以及能蓄水的古河道、河床等；“构造线”——地下水沿岩石破碎裂隙带、发育的构造带流动或出露；“湿生植物”可帮助确定地下水埋藏深度及矿化度，是古河道分布及浅含水层的标志。利用 0.6—0.7 微米和 0.8—1.1 微米的波段对比，即可判定水生植被。利用“宇宙”和“流星”资料对地表进行红外探测，以便探测地下水潜入河流、海洋的出口；探测温泉活动；探测不同季节的温差，确定泉水露头；探测土壤湿度和冰冻层等。利用“宇宙 243”的微波资料，探测地下水，理论上可透射 10 米的地下水，但实验时只有几十厘米。

④径流估算。根据遥感信息所提供的流域结构及其特点，根据集水区湿润变化等，进行地表及地下水径流估算和预报。根据河床特点作径流过程线的预报等等。

⑤进行河滩及水库混浊度测量等。

第三节 法国遥感

一、法国空间技术和遥感的技术背景

法国在遥感领域里可以和苏美抗衡。在技术上，它既不想和美国一样搞，也不想和苏联一样搞，而要自立门户。

推动法国的空间技术和遥感的主要机构有：Centre National d'Etudes Spatrales (CNES) ——法国国家空间研究中心；G. D. T. A. ——法国航天航空遥感发展组织；European Space Agence(ESA) ——欧洲空间局，这是欧洲共同体的组织，下属13个委员会，包括空间、遥感、教育等。

1. SPOT卫星

法国为发射SPOT卫星花了很大的气力。经过充分地周密地准备，SPOT卫星于1986年2月22日发射成功，至今仍在正常工作。有关SPOT卫星的特点、地面管理系统、产品等请看本书第一章中的“SPOT卫星”一节。

2. 图卢兹的图象处理中心 (CRIS)

这个图象处理中心很早就从意大利的地面站（欧空局）接收各种卫星资料，包括陆地卫星、海洋卫星、气象卫星以及热容量卫星等。SPOT卫星发射后，CRIS对SPOT图象进行一、二级预处理。它是法国遥感的一个强有力的基础。

3. 航空遥感系统

法国的航空摄影测量的基础很强。法国、德国是欧洲用航空摄影编制地形图最早的国家。制图的基础好、水平高。无论是编制图的理论，还是数学基础、地理基础以及工艺技术都比较好。因而，法国在搞数学库、图象匹配等方面也是上得快的。

法国有几种颇有名气的航空遥感飞机。如大西洋型，是目前装载遥感仪器最多的一种重型遥感飞机，可装14种仪器，对国内外服务，FALCOM 20型是法国自制的轻便型遥感飞机，质量很高。

4. 高空气球试验

法国的高空气球试验所得的摄影象片质量较高，比例尺1:40万，可进行土地分类、地貌构造解译等。

二、法国遥感地学分析与应用的特点

1. SPOT卫星的模拟试验和软件系统

美国发射了多颗卫星，但发射前的模拟试验工作做得不够，因而地球资源卫星发射后的头半年产生了所谓信息爆炸，就是每天接收到的大量图象、磁带没法及时处理。法国吸取了这个教训，在SPOT卫星发射前做了大量的模拟试验工作，自己做，也请许多国家做。如20米的地面分辨率能够解决多少问题？30米到底比80米有什么优越性？如果地面分辨率提高到10米又有什么样的用途？从传感器的设计、数据重新采集的办法、平台的运载工具、发射能力、图象处理、应用的可能性等都进行了全面的分析。对于各种

可能的情况做了大量的模拟试验。同时还准备了软件系统。正因为法国在SPOT发射前做了充分细致的准备工作，因而发射后的后续问题便容易解决。

2．建立地理信息系统的数据库

法国建立地理信息系统的数据库（Gestion Informatique Traitment Auotmattique des Namerisation——GITAN）是从1976年开始的。它用了6台有磁带记录的手扶跟踪数字化器，把全国的地图和一些地理资料数据化，按1:2万比例作等高线和高程点的DTM。DTM按1:2.5万的精度，地图的平面要素按1:10万的比例，行政界线依据1:10万的法国地形图，市政地名35000个，行政区划中包括国界、水系、海岸线等。

3．高水平的遥感制图

法国的1:100万地图是用陆地卫星象片来更新的。1:50万、1:25万地图也都有用陆地卫星更新的正常作业。

SPOT卫星的设计思想是重视制图的可能性。SPOT卫星的发射为遥感制图提供了一个新型的工具，可以用之直接编制1:10万地形图和更新1:5万甚至1:2.5万地形图。

4．信息复合

法国十分注意图象信息的匹配复合。如用RBV和Landsat的MSS复合，雷达图象和MSS复合，地球物理参数（地磁图、重力图、地震图）和遥感图象叠置等等。法国比较早地把信息复合方法应用于遥感研究。

5．海岸带的遥感研究

法国重视海岸带的遥感研究，特别是对西部大西洋海岸的工作很细，包括污染、赤潮、生物量等动态的研究。

第四节　英国遥感

一、英国遥感技术背景

1．光机混合的图象处理系统

英国早期建立的一套图象处理设备是很实效的。这套光机混合的图象处理系统主要由一台彩色合成仪和一个PDP-11/20的小型计算机图象处理系统组成。小型计算机图象处理系统负责输入、输出，包括飞点扫描装置、人机对话系统、选择训练场地以及彩色显示、图象密度分割、比值处理等。光学图象处理包括彩色合成、放大等。运用光机混合交叉分析的方法进行作业，即目视解译、光学图象处理、计算机图象处理三种方法交叉进行。这样既减少了计算机的工作量，又可达到区域开发研究和资源调查的目的。英国利用这种简单有效的设备在国内外做了大量工作，特别是对于那些缺乏资料或地面实况的未开发地区，更显示出它的优越性。

2．云雀火箭（Skylark Rocket）

火箭遥感在英国搞得较早也较好。英国飞机制造公司（BAC）制造的云雀火箭于1957年生产以来共造出356枚，广泛用于大气、地球物理和资源考察等方面。发射的可靠率达85%。云雀火箭既是气象火箭又是资源火箭。它在技术上的不断提高，大大推动

了火箭遥感的发展。云雀火箭用于资源考察方面做过3次大的试验，有关云雀火箭的结构特点、试验情况等请看前面火箭遥感一节。

3. 小型航空遥感飞机

英国有20架小型航空遥感飞机，载重不超过600公斤，续航6小时，最小速度仅55米/秒，起飞跑道200米，造价45万美元。每架飞机上只装置多光谱扫描仪、侧视雷达、多频微波辐射计三者之一，再配备多光谱相机或红外辐射计，可满足专业遥感的需求。

这种飞机几乎没有导航设备，完全靠驾驶员的熟练技术。一个航空队仅4个人，效率很高。如英国要对数百个城市进行能源消耗、暖气、管道的渗漏等情况的监督，便经常使用这种小飞机进行热红外摄影。这样能起到节省全国能源的5%的作用。

4. 侧视雷达

英国的雷达发展史久远、水平也高，有好几家公司均制造雷达。最初主要为海军测绘工作研制了真实孔径雷达，同时也证明了它对探测地质现象等的用途。以后，英国在布里斯托尔大学的实验证明，雷达影象可用于区分玉米、小麦、甜菜等作物，可靠率可达90%；在大比例尺的图象上可识别7种树木。对印度尼西亚21万平方公里和秘鲁30万平方公里的勘测，通过对构造的分析，发现新的油汽田。对地质普查与断裂分析很有效，也可以用于海冰和油漏的动态监测。

英国的星载雷达准备装到欧空局的空间实验室上。这个雷达是由英国和瑞典联合制造的。真实孔径雷达的分辨率在1万米高空可达15米。合成孔径雷达的分辨率不受航高的影响。

二、英国遥感地学分析与应用的特点

英国遥感技术并不发达，但是遥感应用的广度和深度、应用理论和方法的研究以及科学普及方面在世界上是名列前茅的。在英国，遥感技术的应用已不是试验阶段，而是作为生产、科研和政府部门广泛应用的作业方法之一。

1. 遥感应用的深度，主要在于有雄厚的专业基础

英国有个蝗虫研究中心，采用的是遥感研究的方法。但是这里的研究人员对蝗虫的生理生态规律是非常熟悉的。蝗虫多起源于巴基斯坦、印度、阿富汗这一带干旱地区的绿洲中。一般降雨条件恰当时就会产生蝗虫。蝗虫分作若干批向西飞，经过阿拉伯半岛到非洲北部、西北部直至摩洛哥一带，这是一条主要途径。英国蝗虫研究中心的具体做法是：第一步，利用气象卫星云图来计算这一区域的降水情况。即把云图划分成格网，根据云量和云的厚度等来估算每个格网内的降水量，从而得到不同区域的降水量。第二步，利用陆地卫星资料检查洼地的潮湿程度（即土壤水分的多少），并利用陆地卫星资料估计今年的芦苇、草地的生长情况。假设这几方面条件都很适宜蝗虫生长，就可以作为一个蝗虫发源的中心地，这样可以预报出有多少地方会发蝗。再根据蝗虫的生态特征，估计在多少时间后蝗虫成熟起飞。第三步，沿途用雷达监测。蝗虫身上的脂肪多，在雷达屏幕上是亮点，能估算出蝗虫的数量。第四步，根据气象卫星资料，研究气流的方向、流速等，寻找不同气团的界面。由于蝗虫无法穿过界面，因而一般碰到锋面蝗虫便

降落。这样便可预测蝗虫在何处降落、降落多少（如埃塞俄比亚降落多少、以色列降落多少，能飞到阿尔及利亚、摩洛哥多少等），从而发出蝗虫灾情的趋势预报。

英国是地质学的发源地。近来英国在找矿方面有两条有效的途径。一是通过卫星资料的线性和环形构造形迹分析找矿。他们利用卫星图象研究全世界的环形构造并划分为不同类型（如那些是岩体所造成的，那些是陨石所造成的，那些是火山的……）。他们认为在环形构造的边缘部分，特别是在两个环形构造接触部分往往是矿点，并在有153年地质工作历史的英格兰西南部，取得了扩大铅锌矿储量的效果。此外，他们还从板块运动、大陆飘移学说的观点出发，描述了全球范围内利用遥感方法寻找金属矿床的前景。这些均是利用遥感进行全球宏观研究，从大地构造学的观点分析而得出的地学规律。英国另一个找矿有效途径是遥感生物地球化学找矿。矿物的化学元素以各种各样的可能扩散在矿物的周围形成扩散晕，因而可以根据生物微量元素的含量来追溯矿体。这里的关键在于运用遥感和其它方法寻找矿物的指示植物和植物群落的特点。英国伦敦大学教授柯尔（Cool）运用这种方法在澳大利亚找到铁矿，在坦桑尼亚找到钼矿，在英国北边小岛上找到钾盐矿以及在距伦敦不远处找到了钼矿、铅锌矿。

英国遥感分析的深度大。但这种深度并非建立在遥感技术本身上，既不是从波谱上找特征，也不是从图象处理上找关系，而是很深刻地把遥感分析和本学科的基础联系起来，把遥感技术、应用、分析密切结合起来去解决一些根本性的问题，取得很明显的效果。

2．遥感应用的广度，主要在于重视普及工作

英国三个岛只有24万平方公里，但约有155个遥感小组，大部分是些应用单位。英国的遥感普及工作直做到中小学。英国的地图收集了一百年的。海外部的土地测量局收集了100多个国家的航空象片档案。英国专门有两家公司供应大、中、小学所用的航空象片、卫星象片，有300张很标准的航空象片经常提供。接收气象卫星云图是由苏格兰的东德大学两名教授和两名技术员完成的，每天发出，供应全国十几个政府部门。个人也都可以订气象卫星云图。

3．雷达影象制图

在热带地区要用常规方法制图是很困难的，但侧视雷达每小时可测2万平方公里。在英国，侧视雷达图象已用来编制1:20万地形图、1:10万地质图。同时在秘鲁找到了石油，在委内瑞拉发现铁矿和铀矿。可见，侧视雷达在赤道附近的热带地区也取得了很显著的成果。在南极洲用侧视雷达在几个月的时间内便完成了1:100万地形图，同时还做了冰的厚度图等。

第五节　加拿大遥感

一、加拿大遥感技术背景

1．全国高度集中统一的遥感机构—国家遥感中心（CCRS）

国家遥感中心CCRS的全称为Canadian Centre of Remote Sensing。建于1971

年，隶属于能源矿产资源部，承担着国家遥感规划和协调的任务。CCRS 的创始人L. W.Morley 提出 CCRS 的任务应是：探求长远的资源管理问题，提供空间时代的答案；对于加拿大所固有的问题和新的挑战提出建议，如工业化问题、北方开发和人口增长等问题；要对加拿大北方广阔的无人区进行调查和监测。

加拿大国家遥感中心包括以下工作内容：

（1）二个地面站（分别位于东、西海岸）提供陆地卫星和 NOAA 气象卫星的资料数据。

（2）计算机图象处理分析设备。为影象增强、分析解译服务。它的长期用户有 160 个。

（3）向全国提供航空数据和图象。

（4）研究遥感应用的方法和研制新仪器。

国家遥感中心仅有 100 名工作人员。它与国家航空照片库和国家遥感飞行作业队相联系，即这二个机构不属于 CCRS。航空照片库拥有 17 台象片自动冲洗机，随时可以满足全国的需要。飞行队拥有 4 架飞机（2 架DC-3，1 架苍鹰式回旋喷气机，1 架 Convair-580），向全国提供服务。飞行服务用户有 800 个左右。CCRS 在 8 个省区设有分组织。CCRS 自设 14 个工作组，其中应用组 10 个（包括农业、大气科学、制图学和摄影测量学、林学野生生物和荒地、地理学、广义地学、水文学、冰川侦察和冰川学、湖沼学、海洋学），技术组 4 个（包括数据处理和卫星技术、资料转发、照片复制和市场出售、传感器）。

2. 重视经济核算和管理的传感器研制工作

加拿大对遥感仪器的研制有严格的限制。从提出设计原理—实验室研究—传感器研制—机械试验—传感器评价—应用试验—小批量试制—转入正常运转，交用户管理，整个过程十分严格。可见，加拿大是很重视遥感技术的经济效益的。如果想把遥感朝着增加收益的方向推进，应当有技术人员的推动和用户的促进。这些用户包括水文学家、海洋学家、制图学家等。而技术上的推动者则是数据处理、分析、图象增强和识别、摄影术、卫星和仪器的研制以及资料发放等。

目前，加拿大已研制的传感器有供检测油膜用的激光荧光计，测冰厚用的微波设备、激光测深器、土壤湿度计，扫描式多光谱相机和用作海洋水色和叶绿素测量用的分光计等。

二、加拿大遥感地学分析与应用的特点

1. 完善的全国性服务系统

（1）完备的遥感科学情报检索系统——CCRS 的科学情报检索部。

这一系统是由加拿大的加买顿大学系统工程系拟制的遥感联机检索系统。它是利用了遥感的主题词，对 1400 多种世界遥感文献进行计算机查询，并以每月 200 项的速度增长。根据主题词的重要性及它们与特定文献的相关性分配以不同的权重“3”、“2”或“1”。权重“3”为主题词是头等重要的，“2”为次重要，“1”表示该文献中涉

及到这方面的一点内容。也就是说，重要性是指中心内容，相关性是指文献涉及的领域。这实际上等于编了一个计算机可以检索的词典，解决了编词典者与计算机和用户都具有共同性的问题。每次检索时，计算机对检索者的要求和编索者的介绍进行相关分析，为用户打印出按相关程度排列的文献清单。若用户要对特别的主题词加以重点强调，计算机就会对相关函数给予更大的加权，优先把这一部分资料提取出来。该系统有二种信息传递方式，一是电话通知后以邮件的方式寄给用户，二是用户通过电话网与中心计算机接通，利用一个标准低速通讯设备经电话线由用户的电传打字机输出。

（2）图象处理设备昼夜工作提供服务。

（3）提供高效率的航空遥感服务。

2．在地理信息系统支持下进行遥感工作

加拿大的地理信息系统（CGIS）是全世界最大的系统之一。见第二章“地理信息系统”一节。地理信息系统为遥感分析提供了极大的方便。加拿大应用地理信息系统的数据库分析遥感资料的工作主要应用于以下方面：制图、解决土地利用的最佳方案、长期土地利用预测、分析环境影响、分析土地潜力、面积量测等。

3．开展国际合作的航空遥感试验

（1）“北方开发”遥感试验，由欧空局遥感试验室和丹麦一起参加的。为了开发石油、估计储量，在加拿大北部广阔海域进行遥感试验。试验包括5方面内容：

①由加拿大的二个地面站提供海洋卫星(Seasat-1)的数据。特别是它的微波数据。经数字处理后提供试验使用。

②利用加拿大遥感中心的Convair580上的机械侧视雷达与海洋卫星配合飞行。ER LMX-L波段的研究。

③在上述二种微波资料的基础上，各部门根据自己的专题进行应用与技术试验。

④进行舰艇、飞机、地面站与卫星的经济效率对比。

⑤考虑国际合作的可能性和方式。

加拿大还与法国、丹麦等合作，进行遥感试验。

4．农作物预报

提供整个农业区的原始图，量测面积。加拿大利用二个地面站，花了二年时间，完成二套不同季相的全国土地利用影象地图。在春天可以利用这套图测量休耕地的面积，在生长季可以利用影象的光谱特征和时间特征来识别作物，并可用来预报暴风雨造成的损失和作物病虫害。在作物预报中利用NOAA卫星绘制降水区，测量云顶温度。但大作物预报中，对1.3米（4英呎）以下的土壤湿度问题没有解决。这一指标对农业、水文估算等都是很重要的因子。

5．成功地进行河流径流估算

用遥感技术来获取径流预报所需的参数。例如用陆地卫星来测量山地的积雪区和融雪区。认为MSS 4看到的积雪面积大，而MSS 6和MSS 7看到的积雪面积较小，这二者之差就反映了融雪的面积。他们认为用陆地卫星是可以搞清积雪的温度和积雪厚度，但无法解决蒸发问题。因此需要地面站网提供蒸发数据才能最后解决径流估算问题。

第六节　瑞典遥感

一、瑞典遥感技术背景

在瑞典，负责空间技术和遥感的主要机构是隶属于工业部的空间活动局。它下设三个委员会：科学委员会——研究空间科学，工业委员会——主管仪器，遥感委员会——主管遥感活动。其中遥感委员会又有4个分会：水委员会、土委员会、气委员会、数据委员会。数据委员会负责数据的获取、存储和处理。具体执行单位是瑞典空间公司。地面站、遥感飞机等均属公司所有，公司并协调各大学的课题。空间公司有120名工作人员，地面站仅17个人，效率很高。

1．面向全球、面向世界的开放型国家

瑞典遥感和空间技术方面几乎所有的工作均国际化。如它的地面站、卫星都是国际合作、就连SPOT卫星它们也享有部分主权。它生产的多波段相机Hasselblad在国际市场上占有绝对优势。

瑞典还大量承担全球性研究项目，开展对外服务。如为了更好地控制卫星飞行和正常工作所进行的全球天气研究，便是由瑞典长期承担着，并及时向美国等发布预告。瑞典还在非洲、阿拉伯等地区承担许多工作。

2．由遥感设备武装起来的海岸警备队

这个海岸警备队除了缉私、反偷渡等，还主要监测海冰、油漏等。它有全套的遥感设备，有3架飞机，装有机械侧视雷达、红外扫描仪、紫外扫描仪、微波辐射计等，机上还装有实时显示系统，并发展了激光监视系统和夜视系统。

3．激光雷达（LIDAR）和SODAR声纳

这种激光雷达（LIDAR）是在地面监测大气污染的。1980年研制出样机，以后正式生产。SODAR声纳由瑞典水文气象局研制，用于测试地面以上的风场和温度，即做大气的垂直剖面。它可以偏角，可以“扫视”，因而对大气层的研究十分有利。

二、瑞典遥感地学分析与应用的特点

1．应用措施的开放，面对全球

这与它的国家政策的开放和国家较为富有是分不开的。这里就不专门论述。

2．注意节约、讲究实效

这一点充分反映在它的图象处理系统和地理信息系统的建立以及应用各个领域上。

瑞典的图象处理系统比较简单。除国防研究院等个别单位有大的计算机外，其余多是小型机。从图象处理的角度，陆地卫星的应用强调了对陆地卫星数据特性的充分理解，研究不同类型接收数据的适应能力；发展不昂贵的人机交互系统，使其便于人们所掌握；按各种不同的应用目的设计影象分析方法。他们发展的EBBA系统是个小型的人机交互系统。既可独立使用又可作为大型机的终端，它可以把Landsat的多光谱数据作几何校准，并用以多时相的季节变化分析、动态变化分析、多种资料数据的匹配复合等。

他们发展的土地管理系统（SLDBS）和道路数据库（RDB）等均在城市与区域规划中发挥着重要作用。

在遥感应用方面也可举出不少例子。如湖泊水质监测。瑞典约有10万个湖泊。他们利用遥感图象与地形图的匹配，对湖泊的浑浊流、湖泊中SO_2所引起的水体酸化、藻类和富营养化现象等进行监测，并进行全国藻类的集中与趋势分析等；微波用于洪水监测研究等。

4、重视遥感制图

瑞典国家土地测量局进行遥感图象与地图的匹配，将之运用到土地利用规划、工业资源调查、环境评价等方面。并把许多制图方法引进遥感中来。如航空象片数字化，先做成数字模型，再数字纠正；对专题图的专题内容数字化，再进行数字镶嵌等。这个测量局还利用陆地卫星资料进行全国1：5万地形图的更新，普通土地利用图的生产与更新，以及专题图的生产与更新等。瑞典还用200多个影象按高斯-克吕格投影做斯堪的那维亚半岛不同波段的影象镶嵌图；用Landsat影象与1：2万的经济地图叠加以更新森林被砍伐的迹地。

此外，瑞典还做了大量对外的遥感制图工作。如突尼斯、苏丹的荒漠化制图，阿拉伯半岛的植被制图，埃塞俄比亚的森林制图，莫桑比克的地质制图，坦桑尼亚Mtera的土壤与植被制图等。

4. 重视海洋、大气遥感

瑞典的海洋警备队为海洋遥感监测，尤其是海冰及油漏等监测做了大量工作，并能做到在破冰船上实时接收和显示海冰信息，以直接指导破冰船航行。

瑞典支持欧空局发射地球资源卫星（ERS-1）。卫星上装有主动微波仪器(AMI)、海洋水色监视仪（OCM）等，可以进行一系列海洋遥感工作。如海冰制图（瑞典可将海冰划分为9类）、海面温度测绘制图、用激光测高仪测海面风浪高低和结构（传播方式）用以导航、海洋运输和捕鱼活动的监测、油污鉴定等。瑞典还利用气象卫星资料进行海冰透明度研究、海面温度测绘、海冰分类等。

在大气遥感方面也有其特色，如城市环境或小气候方面运用了激光雷达和声纳。这种激光雷达的第一代产品可以监测大气中的尘埃、SO_2、NO_2、O_3等4个要素；第二代产品可以监测CO、HCl、NO、CH_4、HF、Hg等6种要素，以及这些要素在大气中的空间分布状况。声纳用于监测温度结构、风场，一般用在机场、核电站等需要对风力进行定位观测的地方。这两种仪器均可做大气的三维图。

此外，瑞典水文气象局利用TIROS-N气象卫星资料进行云的数字分类、全球辐射量研究、云的形状分析、降雨密度计算等。他们还发展多普勒气象雷达将主要用于测雨，用地面微波测大气的温度和湿度的垂直结构等。

第七节　日本遥感

一、日本遥感技术背景

日本政府和财团高度重视科学技术的目的性和效果，以科学技术作为经济振兴的支柱，强调应用效果。生产部门对科学技术的投资比政府多，约有60%的投资靠财团和公司提供。大量吸收国内外的客座研究人员。与此同时，重视中、远期的投资和探索，尤其重视教育，注意培养和使用人才。

1．日本的遥感计划

日本的遥感活动是以国家空间发展局（NASDA）为主体开展的。它在1979年设立了地球观测中心（Earth Observation Center），制定了一个15年的计划。整个15年计划中包括6颗地球观测卫星，其中2颗陆地观测卫星LOS1和LOS2，3颗海洋观测卫星MOS，以及1颗地磁/重力卫星。此外，日本发射了3颗静止气象卫星GMS，轨道高度35800公里，定位于东经140°，向气象卫星中心地面站提供日本和邻近地区的气象情报。我国气象卫星接收站也能接收GMS的图象和数据。

日本的传感器包括可见光—近红外辐射计（MESSR）、可见光—热红外辐射计（VTIR）、微波辐射计（MSR）等。

日本在发放卫星上是持慎重态度的，讲究实际效果。日本的海洋面积大，海洋是它的生命线，因而他们对海洋卫星的发射没有争议，而对陆地卫星的发射有争议。因为日本领土小，就本土而言发射卫星意义有限，他们的兴趣在对外和要能够解决其根本的资源问题。

2．日本的地面接收站

日本的卫星地面接收站设在离东京不远的鸠山，属NASDA管辖。日本的地面站立足于自力更生。他们没买美国的硬件，全套设备都是自己的，耗资5000万美元。他们先建气象卫星地面站，由此扩建陆地卫星地面站，然后再扩建海洋卫星接收站。至于接收SPOT卫星问题，他们仍坚持不买法国设备而用自己的。

二、日本遥感地学分析及应用特点

1．动态分析

日本重视动态监测与分析。如东京湾海水污染监测便是采用美国普渡大学的LARSYS系统对1972年11月26日、12月14日和1976年7月29日三天的陆地卫星图象进行监督和非监督分类。除了陆地、云类别外，对海水污染情况分出5个等级、求出各自的面积，并进行动态分析和规律研究；运用经图象处理的静止气象卫星热红外图象进行赤潮、海面温度场分布等的分析；对经边界增强等处理的卫星影象进行活动断层分析，以及利用多时相陆地卫星影象进行积雪分布和动态变化研究等。

2．专题制图的专业化和规范化

日本的遥感和制图联系很紧密。遥感专题制图达到规范化程度。

（1）都市土地利用图。日本用遥感图象对城市和郊区的土地利用研究，采用光学一计算机图象处理方法，在分类前按地形图进行几何纠正，分类后直接套印在地形图上，从而做出整幅图。

（2）森林分类图。森林遥感制图在许多国家都很发达，如加拿大、瑞典、印度等。日本在这方面的特点是不仅用了光谱信息，而且使用了纹理分析方法进行分类，即利用了树冠的粗糙度、树的排列等纹理信息。他们在北海道用MSS数据，经过空间滤波，能划分针叶林、阔叶林和混交林，加上纹理分析能在这三种林地中又分别出分疏、中、密三种林地，并分别求出它们的面积。

（3）土壤分类图。他们以植被的生物量作为划分土壤的主要因素，即用植被覆盖类型作为土壤类型的一个参考。运用多光谱扫描仪DS-1250取得的多光谱数据，在LARSYS系统软件包上进行监督分类，划分土壤类型。

3.影象地图化

为了扩大影象的应用价值，能与常规地图匹配使用，日本IBM公司提出了一套使影象地图化的方法。即先做多波段的合成影象，再和地图上的控制点配准。日本的国土地理院已有专用计算机等设备正规地生产这种图。比例尺分别为1:5万、1:20万、1:50万三种，均为陆地卫星影象"垫底"，上面有地图要素。在图象处理中要进行几何校正、辐射校正，在拼接不同象幅时，要调整色调、调整阴影方向等，这些问题日本都已解决，并进入正常业务。此外，影象图要按地形图分幅，并加上数字地形模型（DTM）。日本已将全国1:2.5万的地图数字化。在使用陆地卫星影象时，可以对每个象元赋予高程值，这样便可以三维地利用陆地卫星影象。因而，日本的卫星影象可以按地形图分幅，可以与地形图匹配，可以有高程概念，形成了一套使影象地图化的生产系统。

4.地理信息系统

日本地理信息系统搞得较迟，但抓得很紧，前进很快。日本的国土信息系统已广泛应用于日本的区域规划、环境评价等各个方面。关于这个系统的具体介绍请看第二章"地理信息系统"一节。

第八节　印度遥感

一、印度遥感技术背景

1.印度的遥感机构

印度是一个遥感技术全面发展的亚洲国家。印度的遥感技术是由科学技术部领导的，由总理兼部长。在科技部下设有：

空间研究组织—ISRO (Indian Space Research Organ Sation)

空间应用中心—SAO (Space Application Center)

国家遥感局—NRSA (National Remote Sensing Agency)

国家遥感已形成了从数据采集、图象处理、图象解译的一整套完善的技术系统。它不仅自己有一套实体从事遥感工作，同时负责统一协调国家各个部门的遥感工作，包括区

域开发、资源调查及研究部门的地学分析应用。印度主要从事遥感工作的部门有印度地质调查局（GSI)、国家土壤调查和土地利用计划局（NBSSDLUP)、国家地球物理研究所（NGRI)、中央水委员会（CWC)、水开发委员主（WDP)、森林资源调查局（RSFR)、农业科学大学（UAS）等20多个部门。这充分说明了印度从上到下有一个强有力的中央组织机构在发展印度的遥感。

2. 明确的应用目的

印度国家遥感局的负责人R.S.Rajan在第二次亚洲遥感会议上曾指出：印度空间计划的主要目的，是开发地球表面不同地区电磁波谱影象的固有能力，并使遥感应用于各种国家实用的目的。初期活动的主要目标是在国内建立一个能够为用户需要服务的正常运行系统，而且具备足够的灵活性，并有利于促进技术更新和扩大应用。

为了实现这个目的印度做了以下的工作：

（1）ISRO硬设备的发展，包括空间载体和航天、航空的遥感器。

（2）国家遥感局在海德拉巴（Hyderabad)建成一个完善的地面站，并在离海德拉巴55公里处的Shadnagar 设置综合接收站接收Landsat、TIROS-N及NOAA 6的卫星数据，向国内外提供资料。此外，Shadnagar还设有一个接收Landsat 4的终端，并计划用于接收本国的IRS和其它外国卫星。

（3）国家遥感局管理一个航天系统，并保证运行和飞行。

（4）国家遥感局和空间应用中心不断改进光学的和计算机的数据处理和解译系统。并有一个图象解译增训中心IPI，专门培养分析和解译人员。

3. 印度的卫星与传感器

印度发射有自己的卫星系统。1979—1981年由苏联火箭发射了2颗印度自制的卫星——Bnaskara (SEO-Ⅰ，SEO-Ⅱ）地球资源卫星。装有2个电视摄象机，波长范围分别为0.54—0.65微米和0.75—0.85微米，另有微波辐射计（19—22千兆赫）。1981年发射的第二颗卫星上的电视摄象机有所改进，微波增加了一个通道（31千兆赫）。1981年发射Rohini卫星，是一个40公斤的小型卫星，由本国的SLV-3火箭送入轨道。这是为发射遥感卫星做的试验准备。1988年3月17日发射印度遥感卫星（IRS-1)，重量约975公斤，与太阳同步的近圆形轨道，轨道高度904公里，周期103秒，每天绕地球14周，覆盖周期为22天。有三轴稳定装置，采用CCD电子藕合器件的刷式(Push-broom)扫描仪（LISS Ⅰ、Ⅱ）包括可见光、红外2通道。空间分辨率分别为72.5米和36.25米，寿命3年。

印度很注意发展自己的光学、红外、微波系统。印度空间部充分了解各应用部门的需要，并支持各部门应用遥感技术。在传感器方面，印度也较齐备，除了自己制造的红外扫描仪、5通道和6通道的多光谱扫描仪、2通道的电视摄象机、刷式扫描仪、微波辐射计外，还引进了Bendix 11通道多光谱扫描仪、I_2S摄影系统、RMK 15/23及30/23、气象遥感器、机载地球物理设备（磁力仪、雷达散射仪）等。

4. 航空遥感系统

印度国家遥感局有4架飞机。它们是AVro HS-745、Dakotas、DC-3、Canbe-

tra并配有各种仪器提供用户使用。印度注意把航空遥感和航空地球物理资料结合起来，即把航空遥感的多波段、全色、彩色红外图象和航测、磁测资料结合起来，用于寻找建筑材料、铁矿、硫磺、石墨等。

5．数据处理与应用系统

印度的数据处理与应用系统较为完善。国家遥感局拥有一套MDAS (Bendix Multispetral Data Analysis System)，包括印象、绘图设备，可以处理陆地卫星和气象卫星数据，并进行缩微复制和专题制图。国家遥感局和空间中心均有地面实况测试仪器和光学判读仪器。空间应用中心的INDIPS系统已与TPA 70计算机系统连接，具有多种功能。印度还建立了120多种软件包，可适用于不同的计算机系统。但是，印度对资料、图象预处理的研制重视不够。

二、印度遥感地学分析与应用的特点

印度是一个发展中国家，农业尚未过关，遥感应用主要在水资源、土壤及地质矿产等方面。遥感应用比起它的遥感技术发展是慢的。

1．水资源遥感

（1）用陆地卫星图象来研究喜马拉雅山的积雪和融雪量。他们用地面站提供的1978—1979年的陆地卫星图象，按1公里的格网测量雪线的高度和雪被的分布。由于他们认为雪的厚度在这个地区几乎没多大意义，故未考虑其厚度。这样来确定雪线高度在一年内的变化，计算融雪量，并作出融雪曲线。这条曲线和实测曲线很吻合。

（2）用TIROS-N/NOAA系列气象卫星的VHRR或AVHRR图象，进行小河流域的径流估算。他们用海德拉巴地面站连续接收的NOAA气象卫星甚高分辨率辐射仪(VHRR)以及改进型甚高分辨率辐射仪（AVHRR）的图象，把1975—1978年4—6月份图象上的雪被分布范围用转绘仪纠正转绘到比例尺缩小了的水系流域图上。这种水系流域图上有域界、山脉、山脊线、没有雪被的湖泊、村庄等，便于定位。试验在水库上游进行，因而可以根据流域下方水库的地面同步观测资料，用经验数据建立模式。同时利用陆地卫星数据来分析区域的植被、土壤渗透系数等来预报4—6月份的径流。1980年预测的结果，误差为9.5%。1981年继续工作了一年，提高了可信度，误差降到5%。通过试验他们认为利用气象卫星测绘、监测喜马拉雅山大面积雪被是完全可能的；利用陆地卫星、TIROS气象卫星和印度遥感卫星SEO Ⅰ[#]，印度完全有能力提供研究这个问题的全部资料；技术上是完全可行的。

（3）印度的地下水控制局（CGWB）和水开发委员会，利用Landsat影象编制地质图、地质地貌图等，分出坚硬的不含水层和疏松的含水层或进行线性形迹分区等，以区分出不同水文地质条件，用以指导钻井，并用地球物理方法进行验证，效果很好。

（4）印度中央水委员会应用遥感技术于水资源开发的研究，包括水质、水量、洪水泛滥与灌溉设计、海岸带的土壤盐度、水情管理、农业条件分析、冰雪水文等一系列问题。他们比较了航空遥感方法和卫星遥感方法的经济效益，认为同样调查1平方公里大小的区域，航空方法用2美元，卫星方法用0.06美元，卫星遥感方法效益更高。

2．土壤遥感

印度国家土壤调查和土地利用计划局拥有全印度的航空象片和陆地卫星影象以及完善的设备。他们应用彩色红外摄影进行土地、土壤制图和矿区周围生态变迁的监测等。印度已广泛应用航空遥感图象进行土壤调查，重点放在流域的划分、土壤恶化与水土保持等方面。

3．地质遥感

印度地质部门已把遥感当作一种常规手段加以利用。印度地质调查所设有一个航空矿产调查组（ASME），在全国六个大区都设有中心。印度所有的地质构造、地貌、矿产和地球物理图均利用了卫星图象或航空象片，黑白航空象片覆盖全印度。

地质调查局充分利用各种遥感资料，对印度许多地方进行地质、地貌、构造、不良地质现象等的专题制图，进行构造、地震成因等分析，以指导找矿或地震预报等工作。地质调查局是印度卫星计划的主要支持者和用户之一，并把地球物理勘探作为遥感范畴，而且进行地质的光谱特征方面的研究。

第九节　泰国遥感

一、泰国遥感技术背景

1．陆地卫星地面接收站

泰国的陆地卫星地面接收站于1981年建成。这个站是通过美国的贷款和加拿大的技术援助建成的。接收到的图象均用微波传输给美国的空间中心，每年要付60万美元的租金，20万美元的技术设备维修费。同时可替东南亚17个国家提供资料，也可接收和提供我国南部的资料。

2．遥感技术干部的培训

泰国很注意遥感技术干部的培训。1972年开始接受了美国（NASA、ERIM）、加拿大遥感中心的培训。在农村、水产、地质等各部门都培养了一些专家，开展应用工作。现在有一个在联合国支持下的亚洲技术学院(AIT)培训遥感技术干部，实行开放政策。AIT的60%的学生是培训泰国自己的，少部分是培训外国的。

二、泰国遥感地学分析与应用的特点

泰国的遥感重视生产应用，不强调学科，不强调设备，只讲求生产技术效益，往往围绕一个生产问题，很多学科都参加，在很多方面取得比较切实的经济技术效益。

1．热带海岸带的开发

（1）泻湖生态系统的研究是与澳大利亚合作进行的。泻湖由古海湾和海湾口的河堤组成，上湖是淡水湖用来养虾，中湖是咸淡过渡的，下湖是一个咸水港湾。用遥感监测水的咸淡的变化，设置了很多养殖地，即海洋农牧化，把外海捞回来的渔苗定殖用网围起来。研究橡胶林的开发对三个湖的生态系统的影响。宋卡湖在泰国跨三个省，利用卫星图象规划了宋卡的工业区、渔港和公路桥梁的全面布局，也规划整个汇水盆地。由

于规划得当，保持了湖的生态平衡。搞这样一个生态系统，控制海水咸淡，把整个区变成养殖区。

（2）红树林海滩的利用。这一带是岩溶区，由于是下沉海洋，平台都在水下 3—5 米。利用泥滩来养蛤蜊、螃蟹，蛤蜊附在红树林的气根上。用遥感监测红树林的生态变化。

（3）砂锡矿床的开发。海滨的堆积台地（20—40米），底部是砂锡矿床，上面为热带丛林。井下开采砂锡矿床，造成水土流失，污染海岸，在海边造成浑浊流。这一系列的问题均用遥感来监测。

2、中部平原的水利和城市规划

（1）古海岸与古城堡的研究。用卫星象片来控制冲积扇的轮廓、分析冲积扇的地貌形态、进行冲积扇的分带。冲积扇上部粒度粗，中部是坡度缓的粘土质带，下部是古潮间带涉及的地方。然后再把高程点匹配上去。整个平原的海拔相差 20 米，平面距离 200 公里，很平，高程分级达到 20 厘米。这样勾出 20 厘米的等高线，再把古城堡画出来（古城堡为了排水，堆成一个一个的小土墩）。用古城堡来确定古海岸的实型，就把平原区的海湾、海岸线恢复了。古海岸与古城堡的研究对建立排水灌溉系统，恢复古城堡、建立遗址公园、发展旅游业等均有实际意义。

（2）第二曼谷计划。曼谷的主体在湄南河的东岸，海拔不到2米，经常受到水灾威胁。曼谷有 600 万人口，一次水灾损失 20 亿。

在泰国湾离海岸 200 公里的海上，发现油气田，通过管道把海上油气送到曼谷。在管道海陆接口处发展成一个很大的旅游区，这里是一个抬升的海蚀台地，没有洪水问题，且更接近于能源，交通运输也更方便。现提出第二曼谷计划——实施一个新的城市规划方案。遥感也是该计划中的一部分。

3．资源清查与管理

（1）北部山区的土地开发利用。这里有的地方尚无地形图。他们用卫星遥感图象进行整个区域规划，再直接用航空象片做土地资源调查与利用规划。如安康地区种植当归、水果等来取代过去种鸦片；青买地区开辟梯田以代替过去的刀耕火种；遥感监测山区柚木生长等。

（2）森林资源的调查。泰国林业部对全国森林资源的调查制定了一套遥感方法和制度。国家森林法的执行情况也是通过遥感来监测的。

（3）橡胶是泰国的仅次于大米的重要资源。全国做了 1:25 万橡胶分布图，把橡胶林分为 3 个林相：5 年以下、5—15 年、15 年以上的。圈定分布区，并研究橡胶的布局，橡胶北移的宜林地等。这项工作是用遥感的方法进行的，并利用动态遥感资料更新橡胶分布图。

（4）能源、矿产资源。泰国地质部用遥感分析全国的大地构造体系，来寻找能源与矿产资源也是有效的。泰国基本上是一个复式大背斜，其复式背斜的西边是一个金属矿带；东边是一个由石炭-二叠纪石灰岩组成的高原，此处是一个石油基地；中部背斜中轴线上找到油气田。泰国还研究线性构造的变化对整个构造格架的影响，并用以指导大的工程建设等。

（5）交通运输。泰国的铁路较落后，但公路却很发达。西通印度、南通新加坡，建立了所谓的五州公路网。泰国的公路商业化，即各家自己修。国家为了掌握公路变化情况，每年用卫星遥感图象对整个公路图（1:50万）进行修订，并及时出版，以指导交通运输事业。

第十节 墨西哥遥感

一、墨西哥遥感技术背景

1．集中统一的遥感组织

墨西哥全国的遥感工作是在国家土地委员会（CETENAL）的统一领导下进行的。该委员会建于1971年。在1978年前与"国家外层空间委员会"同属总统府领导，1978年"国家外层空间委员会"并入国家土地委员会。目前在该委员会中有12个政府部门参加。下设研究总部和行政管理处。研究总部又分摄影测量部（包括航摄队、大地测量室、制图室、计算室）、资源研究部（包括地质室、土地利用室、土壤室、土地潜力室、社会经济室、气候室）、技术研究部（包括学科协调、工艺流程、质量控制）三部分。整个委员会有1700人左右，其中业务人员有1200人。在业务人员中实行二年轮流制，即二年外业，二年内业，因而所有业务人员均具备野外工作能力。内业的600人分三班制，每班200人。仪器设备24小时运转。这样工作效率高，投资也相对较低。

2．以航空遥感为主体

墨西哥遥感是以航空遥感为主体，利用系列制图的方法，把全国的遥感资料和专题地图资料进行统一整理。

航空遥感的主要设备是7架小型飞机（Aero-Commander 500B），飞行高度约9300米，续航力为6—7小时，航速250公里/小时，双人操作。在机上除了装有RC 8、RC 10航空相机外，还可以轮流安装8种遥感仪器。它们是雷达高度计、Hasselblad四波段相机、RPT 5红外温度计、RS 310红外扫描仪、质子强磁计、多普勒雷达、20通道的数据收集记录设备。同时还拥有7架直升飞机，供专业判读使用，如野外采样、地面实况调查等。

墨西哥1968年制定了一个航空摄影制图的十年规划，按纬度和地理状况将全国分割为87个小区，用统一的1:2.5万彩色红外片和1:7万的黑白片，在每一个区域完成六种1:5万的专题图。这个计划在当时是先进的。

3．利用陆地卫星资料进行地图更新

墨西哥遥感工作的基本手段是以航空摄影为主，再辅以局部的卫星遥感资料。陆地卫星资料主要用于地图的更新。上述的"十年规划"，由于周期较长，许多情况发生了变化。这就需要根据卫星象片进行修改更正。

4．重视地面验证，认真开展地面试验场工作

在墨西哥，制图过程重视地面验证工作。强调在每一幅图中需要有50—200个地面检查样点。地面验证工作包括对航空象片分析判读，寻找样点（包括疑难点和代表点），

再用直升飞机取样，进行地面检查，然后修改图幅成图，最后出版并作为国家档案。

此外，为了验证陆地卫星的实用性，受美国委托，在墨西哥设有8个地面试验场。委托不同的部门承担不同试验场的工作。墨西哥自己也建立了观测项目各异的4个地面试验场。这22个地面试验场，经常进行光谱试验、校准以及应用研究试验，并由飞机定期进行遥感试验。

二、墨西哥遥感地学分析与应用的特点

1.以航空象片为主的系列制图

在墨西哥，以航空象片为主的系列制图已形成一套完整的生产体系和技术规范。这方面内容在第二章“系列制图”一节中已论述，不再重复。

2.航空摄影测量在公路选线和城市规划中的应用

以公路选线为例，基本工作过程如下：

(1) 综合分析。应用陆地卫星图象和天空实验室1：25万的象片，配上该区地形图、土地档案、经济资料等，预选5条公路线。根据这5条线进行一次1：5万的航空摄影，最后决定选出其中的1条。

(2) 定线勘测。对上面选定的线路进行1：2万的航空摄影。要求覆盖公路二侧各10公里。此时包括三角测量、高程测量，完成航测成图。

(3) 工程地质调查。利用1：2万和1：5万的航空象片资料进行野外工作。要保证7米以内深度的地质稳定性。调查内容有岩石、土壤、构造、地貌、水文、铺路材料、水土流失状况，并标明所选公路的高程。

(4) 再次进行1：5000的航空摄影测量。这次航测主要解决5个问题：①生成1米等高距的1：2000比例尺施工地形图；②路面中心线控制点的点位及其坐标图；③公路的纵剖面和横剖面；④拐弯处的曲率；⑤公路各段土方量、森林砍伐量及土地赔偿。

(5) 根据1：5000航测资料，计算出上述5项内容。

(6) 成果检验，交付施工。

3.螺旋虫防治计划

这项计划是遥感应用于生物学方面的一个典型例子。该计划由美国和墨西哥合作进行，主要利用NOAA气象卫星资料。

螺旋虫(Screw Worm)是一种蝇类幼虫。它将卵产在牲畜的伤口里，孵化成螺旋虫并钻食牲畜的肌肉组织，造成牲畜大量死亡。在美国，未执行防治计划前，每年在这方面造成的损失高达2亿美元。这种虫发源于南美州，经中美州而传播到美国。因此美国和墨西哥联合在美墨边界和墨巴边界上设置了二道防线，施放一些经人工放射性照射的不育蝇。施放工作要求适宜的温度和湿度。这在墨西哥这种气象站少、通讯不便、地形复杂的地区，只有通过遥感来确定和预报施放的适宜区域。除了外界生态环境条件外，还要求一定的海拔高度，一般要求在海拔650米以下(全年可繁殖)，个别可达到2500米的高程(夏季)。他们在墨西哥境内的科尔多瓦(Cordoba)设立一个半径150公里的试验场，安置了40个诱虫器和20个微气象站。以墨西哥湾的水体为参考，对气象

卫星的红外辐射资料进行地面温度换算。即找出红外辐射的亮度温度与地表温度的相关关系，再加上大气衰减和统计误差的改正，提高相关性，直接发布地表温度信息。此外，在美国得克萨斯（Texas）的麦卡伦（McAllen）也有这样一个试验场。这二个试验场分别控制上述的二道防线。

美墨两国的空间机构联合发展了一个称之为螺旋虫防治数据系统（SEDS）的软件系统。这套系统可以完成下面三步工作：

（1）将预处理得到的红外视频电信号转换为能量单位。

（2）转换后的单位进行地面定位，获得精确的定位数据产品。形成白天可见光、白天红外和夜间红外三条数据磁带。

（3）结合三条数据磁带，计算每日的平均温度，生成一系列表示螺旋虫生长的地面特征图，并分发给用户。这一系列的最终产品有：彩色增强的地面温度图，螺旋虫的蛹、幼虫、成虫各阶段的适宜区彩色图，彩色降水分布图，包含21天平均温度场和湿度场信息的计算机兼容磁带（螺旋虫的生命周期为21天）。

由此可见，遥感应用于防治螺旋虫已形成了一整套过程。墨西哥也采用类似方法进行马铃薯病害防治工作。

4. 自然资源勘探

（1）水资源

墨西哥水资源95%用于灌溉。水利资源部与美国NASA合作，利用遥感资料在三个不同类型区进行水资源调查工作。一是美墨交界的科罗拉多河口的墨西卡利（Mexicali）地区。属干旱区中的灌溉区。采用3个年份的陆地卫星资料和1个年份的天空实验室资料对该区进行水资源规划。对地表水和地下水进行了定量分析，减少了水的损耗，特别是蒸发和蒸腾的损耗。该区建立了一个大型的海水淡化灌溉带。淡化的水经1.7公里的渠道送入由塑料薄膜覆盖的沙漠地带，进行黄瓜、辣椒、西红柿的种植。因此减少淡化水的损失是至关重要的。二是墨西哥东海岸的洛斯莫奇斯（Mochis, Los），属海岸低洼泻湖地带，野外工作较困难。这里土壤盐渍化，利用遥感资料完成了1：10万的三级盐渍化图。三是湿热的帕帕洛安潘（Papaloapan），属热带雨林地区。利用遥感查明该区河流、水井位置和各种森林覆盖情况，进行运河的先期勘探，以指导运河开挖。

（2）遥感找矿

主要是通过遥感图象处理和解译分析，发现一些有找矿意义的线性构造和环形储矿构造。如在701地面试验区，遥感发现了过去忽视的北东向断裂，该组断裂方向与不远的Angangneo金矿区的矿脉相符，形成一个新的有希望的找矿构造。在墨西湾沿岸，寻找盐丘构造，从而找到新的油田。利用卫星图象对索诺拉和下加里弗尼亚地区进行地质分析，发现与美国的圣·安德列斯大断层有密切关系，并有典型的海相沉积构造，从而可以判断可能有油气田及生油的有利条件。

（3）其它资源与环境调查

用航空遥感进行全国土地资源清查，完成全国1：5万系列图和土地档案的大部分工

作。后来改用陆地卫星资料在2年内完成全国19700万公顷的1:100万土地利用图和4500万公顷土地潜力图。其成本要比航空资料低得多，工作量也大为减少。

此外，墨西哥还开展了多光谱摄影监测环境污染，特别是海面石油污染；多光谱摄影和红外技术应用于考古研究，发现埋藏地下和被茂密植被覆盖的古代文化遗址，遥感进行地热资源探测、农作物病虫害调查、海洋渔业应用等。

附　录

彩色插页简要说明

彩页 1　卫星遥感图象为人类提供了全球观测和动态分析的可能性。

(a)　东半球的静止气象卫星云图，按正射投影，经计算机彩色增强处理和数字镶嵌，并加上陆地界线而成。它显示了亚洲东部、澳大利亚及太平洋地区的大气环流和行星风系。云图反映出低纬赤道带和高纬极地带云量丰富(橙红色)，中纬地带云量较少（蓝绿色)，西南太平洋的气旋正在形成。通过云和气流的分布状况，即位置、大小、边界形状、纹理结构等来识别不同的云系特征，以进行大尺度的天气分析和天气预报。(采自加拿大MDA公司样图)

(b)　大西洋与印度洋的海洋风系，根据1978年9月海洋卫星遥感数据，经计算机辅助制图而成。图上反映了海面风场以及风引起的洋流的分布状况。白色箭头指风向。大陆东侧的蓝色均反映海流区，可见墨西哥湾流、巴西福克海流、东非海流、黑潮海流、赤道暖流等。(采自美国NASA样图)

彩页 2　卫星遥感用于生物量估算和自然地带季节变化。

(a)　全球陆地植物群落分布图，根据环境卫星观测数据，经绿被指数计算直接编制而成。图上显示了热带雨林、北温带森林（绿色)，热带草原、极地苔原(紫色)，干旱荒漠（黄棕色)，冰原（白色)。这种方法也适用于农作物估产和牧场产草量评价。(采自美国NASA样图)

(b)　全球海洋叶绿素产量分布图，根据海洋卫星水色仪的数据，推算全球海洋叶绿素浓度，并以紫蓝色→黄色→红色来表示叶绿素含量的增加；灰色为无数据。图中可见北半球中纬大陆边缘及部分赤道海域叶绿素含量最为丰富。海洋叶绿素含量主要表示海洋浮游生物的含量，它是估算海洋生产力的基本指标，是了解全球海洋生物循环的基础。海洋渔业与海洋叶绿素含量密切相关。因此，这种方法可用于海洋渔场监测及养殖场选址等。(采自美国NASA样图)

(c)　南极海冰的季节变化，采用1974年Nimbus气象卫星电子扫描微波辐射计(ESMR)的图象。自左至右分别为3、7、9、12各月的图象，表示了南极海冰的季节变化。黑色为陆地，冰的密度由高（红色）到低（蓝色)。每年南极冰层自3月起逐渐增加，黑夜加长。7月、9月图象反映冰面扩大、冰层加厚，在冰盖区有一个浅蓝色不冻的水域（Weddell Sea)。12月图象已反映海冰大量融化。南极海冰的季节变化，直接影响到全球气候变化和海平面升降，具有重要的研究价值。(采自美国NASA样图)

彩页 3

(a) 南极臭氧洞的年变化，根据1981—1986年10月份NOAA-7气象卫星所探测的平流层臭氧含量的平均最小值编制而成。由低到高顺序以紫、黄、棕、绿色显示。(采自美国NASA样图)

(b) 苏伊士湾两岸地质。上图为陆地卫星MSS彩色合成图象，图的左下侧为埃及，右上侧为西奈半岛。下图为同一地区经计算机比值分析处理（4/5与5/6）的彩色合成图象。处理后的图象上，红色、暗红色为结晶岩系（在上图为墨绿色），共结晶基岩山体周围有光谱反射率较高的沙地（绿色、黄色），图的上部桔黄色为沉积岩系，其下部山地中散染状红色可能表示含铁质成分。图上清晰地显示苏伊士湾两侧北西向断裂带由一系列几乎平行排列的北西向海岸断裂和山前断裂组成，苏伊士湾为断裂所致，它是著名的东非一红海大裂谷的北部延伸部分。(采自美国Views-100样图)

彩页4 卫星遥感影象应用于地图更新。

(a) SPOT卫星影象用于更新地图。上图为法国东南部艾克斯（Aix-en-Provence）及周围地区1∶10万地形图(1983年)。中图为同一地区的SPOT假彩色合成图象，1986年5月12日，比例尺1∶10万。下图为用SPOT图象更新地图的内容，个别细节参考了其它资料。从图上提取的更新内容可以看出，1983—1986年的3年中，土地利用状况发生了不小的变化，依次为树林(绿色)、灌木(深棕色)、工业区（斜条纹）、密集住宅（黑色）、分散住宅（黄色）、中等密度住宅（桔红色）。(采自法国CNES、IGN样图)

(b) 巴黎市区SPOT模拟图象（空间分辨率为10米）。说明SPOT卫星图象用于城市规划与城市环境遥感监测的潜力。图上可见巴黎市区的高楼大厦，宽阔的街道和近郊及郊区宽敞的环境，独立的房屋、别墅（黄色屋顶和红色场院），左上角的埃菲尔铁塔。（采自法国Sep 86-03）

彩页5 卫星影象的立体显示与立体测图。

(a) SPOT影象的立体显示。上图为法国尼斯（Nice)地区的SPOT假彩色合成影象，1986年7月。中图为同一地区的数字地形模型（DTM)。下图为SPOT立体图象。它是将SPOT影象经几何纠正、投影变换后的影象数据，与DTM高程数据进行数字复合而成的合成透视图。视点位于海岸线外2000米、海面上空600米处。地形垂直夸张1.5倍。图象立体感强，高山、峡谷、山丘、平原、河流、岬角、海湾等地貌单元清晰易辨。

(b) 地面分辨率的差别，显示SPOT卫星图象(10米、20米)与陆地卫星Landsat的TM图象(30米)、MSS图象(80米)的地面分辨率的不同。

(c) SPOT卫星的立体观测，由于SPOT卫星的HRV具有倾斜观测能力，则在不同轨道上的扫描图象可以构成立体象对，可以用于判读地形或地形摄影测量与制图。

(d) SPOT卫星HRV的垂直与倾斜观测。SPOT卫星携带2台HRV。每台垂直扫描带宽60公里，两个扫描带间重叠3公里，合计地面扫描宽度为117公

里，侧向倾斜扫描带宽950±50公里。

(a、b、c、d均采自法国CNES、IGN样图)

彩页6　卫星遥感图象用于土壤、植被与作物识别。

(a) 多时相陆地卫星影象的复合处理，以提高土壤植被信息的识别能力和分类精度。图为坦桑尼亚慕特拉地区的土壤与植被分类图。根据1972年与1974年陆地卫星影象多时相分析，按象元显示。图上分11类：河边植被(深红)、金合欢属*Kirkii*（桃红）*brachystegia*灌丛地(红)、混合灌丛地(紫)、*Commiphora*灌从地（深绿)、金合欢属*tortilis*（中绿)、有地下水灌丛地（浅绿)、开阔草场(暗蓝)、受侵蚀灌丛地（黄)、有金合欢属*drepanolobium*的受侵蚀灌丛地(蓝灰)、分散的受侵蚀灌丛地（棕)。用喷墨法制图。

(采自《Remote Sensing in Sweden Through The Mid-80S》by Swedish Space Corporation)

(b) 日本田间作物的遥感监测与作物识别。

(采自《Exploring New Computer Application Areas》,Tokyo Scientific Center IBM, Jnpan Ltd.)

(c) 美国中西部圆形喷灌区的作物识别。

(采自SPOT News Letter Mars/March 1989)

彩页7　地理信息系统支持下的自动分类与制图。

(a) 美国华盛顿城郊的土地覆盖图(1:10万)。根据1973年陆地卫星多光谱影象数据，进行了计算机辅助分类与制图。由26种光谱类型合并为11种土地覆盖类型：工商业区（桃红)，停车场、道路（大红)，旧居住区（深蓝)，新居住区（浅蓝)，分散用地——零星工业区等（黄)，改造的开阔地——包括高尔夫球场、墓地、草地（绿）农耕地（浅黄)，森林、灌丛地（浅绿)，云(白)，云影（黑)，水体（浅灰)。同时输出按地图格网统计的各种土地覆盖类型的面积百分比。每个地理格网为5公里×5公里，相当于2500公顷。

(采自美国地质调查局USGS)

(b) 加拿大马罗拿地区土地覆盖类型，在加拿大土地信息系统支持下，对陆地卫星影象（1978年7月2日)进行数字分析及计算机辅助制图，自动绘出地图注记、框架、公里格网，编成专题地图。图中共分出11种土地覆盖类型：水体、稠密阔叶林、混交林、针叶林、沼泽地、耕地、草场、已收割地、荒地、矿区、城镇。

(采自Ontario Centre for Remote Sensing《Program Review 1980—82》)

彩页8

(a) 陆地卫星MSS图象(彩色)与航天飞机成象雷达SIR-A图象（黑白)，对撒哈拉大沙漠下伏的古地下水系的不同表现。SIR-A可以穿过地表延伸到5米深左右的干沙层（包括其上的流沙、沙丘等)，揭示地下一系列的古河道及古地

下水系。这在 MSS 图象及地面上均是无法识别的。

(b) 瑞典林思瓦尔地区的森林采伐程度图。用陆地卫星影象按象元区分林地（深绿），采伐迹地（棕色），叠置在有地籍界线的1:2万经纬地图上。

(c) 加拿大安大略省渥太华附近地区合成孔径雷达(SAR)多时相彩色合成图象，根据1986年8月6日(红)、1986年8月22日(绿)、1986年10月21日（蓝）三个时相合成而成。图象中心为一个被森林覆盖的具陡坡山丘，其间有几个小湿地。图象右下角为卡纳塔(Kanata)城。由于作物类型、生长阶段、土壤湿度的不同，致使雷达后向散射强度不一，而反映为不同色彩的农耕区。（采自加拿大遥感中心样图）

(d) 瑞典哈玛林湖的水污染图，用陆地卫星图象经几何精纠正、自动分类，表示湖水的污染混浊程度，从清澈（蓝）到混浊（绿）。

(采自《Remote Sensing in Sweden Through The Mid-80S》by Swedish Space Corporation)

Contents